Ente Nazionale per l'Aviazione Civile

AEROPORTO CIVILE DI LAMEZIA TERME (CZ)

LOTTO L1 - Sviluppo aerostazione passeggeri
CUP: H84G22000030009
LOTTO L2 - Interventi per la security e la digitalizzazione
CUP: H86I22000390002
LOTTO L6 - Potenziamento delle reti di sottoservizi e impianti tecnologici
CUP: H84G22000060009

PROGETTO ESECUTIVO

LOTTO L1

PENSILINA LAND-SIDE
RELAZIONE DI CALCOLO STRUTTURALE

GRUPPO DI PROGETTAZIONE
Raggruppamento Temporaneo
di Professionisti

Direttore Tecnico e Responsabile integrazione prestazioni specialistiche: ing. Filippo Busola
Geologia: dott. Emanuele. Fresia
Progettazione idraulica: ing. A. Cacciatori
Project Manager: ing. Emanuela Perina
CSP: arch. Elisabeth Foroni

Direttore Tecnico: ing. Giambattista Parietti
Progettazione Specialistica Impianti:
ing. M. Bergami
ing. D. Togni
ing. E. Facchinetti

Direttore tecnico:
Ing. Aeronaut. Carlos Berenguer López
Responsabile sistemi di trasporto:
Ing. Pedro Tena Calderón

Direttore tecnico: arch. E. Valle
Progettazione architettonica:
arch. Maria Camilla Valle
arch. Leonardo Giovannozzi

Direttore tecnico e progettazione strutturale:
ing. Gianluca Vallerini
Coordinatore progettazione strutture:
ing. Matteo Pagnozzi

CODICE ELABORATO								REVISIONE		
Fase	Lotto	Ambito	Discip	Tipo	Num	Rev	Scala	Id.	Data	Descrizione
E	L1	07	STR	RE	01	B	--	A	FEBBRAIO 2025	Emissione
								B	MAGGIO 2025	Recepimento indicazioni Ente di Verifica
								C		
								D		
NOME FILE	AI015P-E-L1-07-STR-RE-01-B							REDAZIONE		Ing. M. Pagnozzi

Visto del Committente: **Società Aeroportuale Calabrese S.p.A.**

INTERVENTO FACENTE PARTE DEL	IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:	IL POST HOLDER DI AREA:
Contratto Istituzionale di Sviluppo "CIS VOLARE"	Ing. Ferdinando Saracco	OPERATIONAL SERVICES MANAGER: Emilio Parrilla PASSENGER EXPERIENCE MANAGER: Sabrina Mileto PH PROGETTAZIONE: Ferdinando Saracco

Approvazione **ENAC**:

INDICE

1. PREMESSA 5
1.1. Descrizione della struttura 6
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO 7
3. MATERIALI 8
3.1. Cemento Armato 8
3.1.1. Classe di esposizione e copriferro minimo 8
3.1.1. Travi di fondazione 14
3.2. Acciaio per carpenteria metallica 15
3.2.1. Classe di esecuzione per opere in carpenteria metallica 15
3.2.2. Strutture in elevazione 16
3.2.3. Elementi di collegamento 17
4. IPOTESI DI CALCOLO 18
4.1. Vita nominale di progetto 18
4.2. Classe d'uso 18
4.3. Periodo di riferimento per l'azione sismica 18
4.4. Limiti di deformazione verticale 19
5. AZIONI VARIABILI SULLE STRUTTURE 20
5.1. Azione della neve 20
5.2. Azione del vento 22
5.3. Azione del sisma 25
5.4. Azione della temperatura 27
5.5. Combinazioni delle azioni 28
6. ANALISI DEI CARICHI 30
6.1. Pesi permanenti strutturali 30
6.2. Pesi permanenti non strutturali 30
6.3. Sovraccarichi 30
6.4. Carichi solaio di superfice 30
7. VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA 34
7.1. Verifica di regolarità in pianta 34
7.2. Verifica di regolarità in elevazione 34
7.3. Classe di duttilità 35
7.4. Tipologia strutturale 35
7.5. Fattore di comportamento 36
7.6. Spettri di progetto orizzontali 37
8. DESCRIZIONE MODELLO E IPOTESI DI CALCOLO 38
8.1. Software di calcolo 38
8.2. Modello di calcolo 39
8.3. Ipotesi semplificative 41
8.4. Schema statico 41
8.5. Rigidezza di impalcato 41
8.6. Modi di vibrare 41
9. RISULTATI DI CALCOLO 43
9.1. Sollecitazioni 43
9.2. Spostamenti 46
10. GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTAZIONE DEI RISULTATI 47
10.1. Sforzo normale su colonna 47
10.2. Taglio totale alla base 49

11. VERIFICA ELEMENTI STRUTTURALI 51
11.1. Travi principali 51
11.2. Travi secondarie 56
11.3. Colonne 60
12. FONDAZIONI 64
12.1. Capacità portante 64
12.2. Pressione massima sul terreno 65
12.3. Trave di fondazione 67
13. VERIFICA DELLE CONNESSIONI 71
13.1. D1 – Piastra di base colonna CHS273x8 71
13.2. D2 – Connessione colonna-trave principale 77
13.3. D3 – Connessione IPE270-IPE240 81
13.4. D10 – Incastro IPE270-IPE240 87

1. PREMESSA

Il seguente documento rappresenta la relazione di calcolo strutturale delle sovrastrutture e delle fondazioni relative alla fase esecutiva di progettazione presso l'aeroporto internazionale di Lamezia Terme (Intervento **L1** "Sviluppo aerostazione passeggeri", intervento **L2** "Interventi per la security e la digitalizzazione dell'aerostazione passeggeri" e intervento **L6** "Potenziamento reti sottoservizi e impianti tecnologici").

Le strutture oggetto di questo documento sono quelle indicate nell'ambito 7 della keymap riportata in seguito:

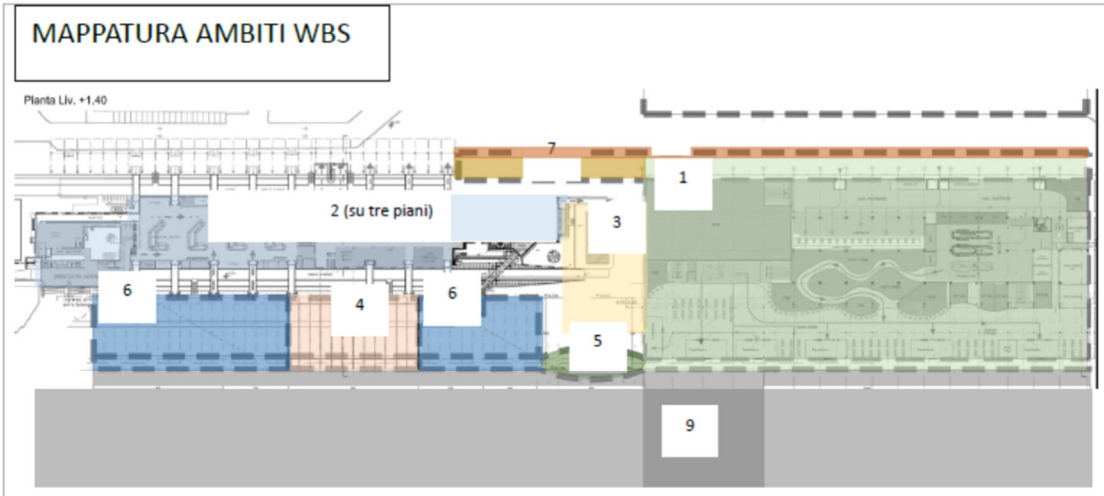
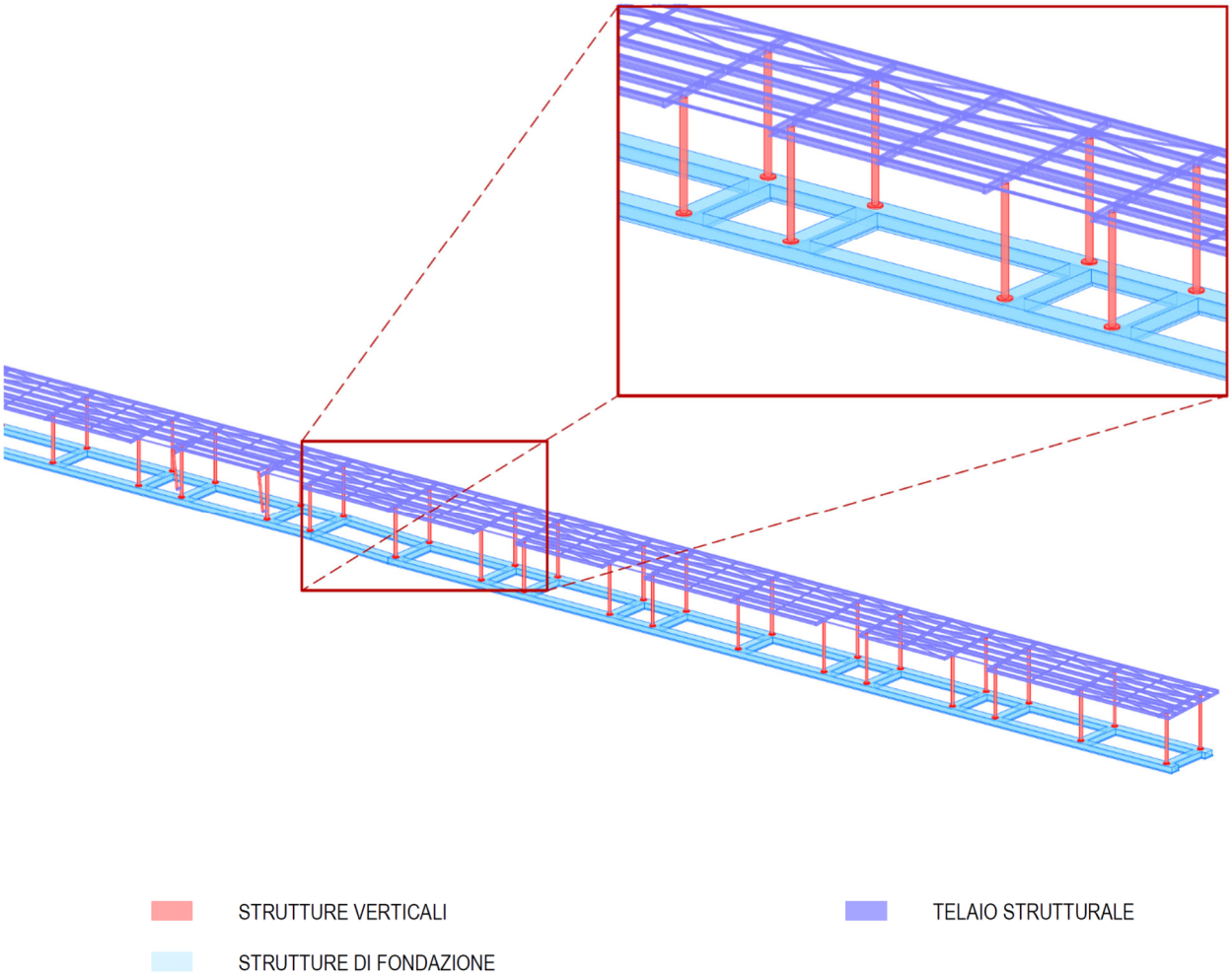


Figura 1 - Mappa ambiti WBS

Ambito 1:	TERMINAL PARTENZE
Ambito 2:	TERMINAL ARRIVI
Ambito 3	POLO TECNOLOGICO
Ambito 4	AVANCORPO
Ambito 5	EDIFICIO CONTROLLO PISTA
Ambito 6	PENSILINA AIRSIDE
Ambito 7	PENSILINA LANDSIDE
Ambito 8	SISTEMAZIONI ESTERNE LANDSIDE
Ambito 9	SISTEMAZIONI ESTERNE AIRSIDE

1.1. Descrizione della struttura

La pensilina lato Land-Side si estende per tutta la lunghezza del nuovo terminal partenze e raggiunge l'attuale pensilina del terminal attuale. La struttura di progetto si estende per circa 290 metri in lunghezza e 9 metri in larghezza, per un'altezza media di circa 4,5 metri. Lo schema statico si compone di una serie di telai in direzione trasversale composti da una coppia di colonne circolari 323,9x6,3 mm ad interasse di 6 metri e una trave superiore IPE270 che prosegue a sbalzo da ambo i lati di 1,5 metri in modo da coprire tutti i 9 metri di larghezza di progetto. La copertura si completa con una serie di travi IPE240 poste ad interasse massimo di 1,5 metri per una lunghezza massima tra telai consecutivi di 10 metri e da controventi di falda a fornire una maggior rigidezza all'impalcato e allo stesso tempo stabilizzare le travi di copertura.



Le fondazioni sono costituite da un reticolo di travi superficiali a sezione rettangolare 100x50 cm.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Gli interventi verranno progettati nel rispetto delle più recenti normative in ambito strutturale e in accordo agli standard di progettazione antisismica vigenti. In particolare si farà riferimento alle seguenti normative di riferimento:

Codice	Titolo
DM 17/01/18	"Aggiornamento delle Norme tecniche per le Costruzioni" (NTC'18) (G.U. n. 42 del 20.02.2018)
CIRCOLARE 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP	Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018
Eurocodice 1	"Azioni sulle strutture" – EN 1991
Eurocodice 2	"Progettazione delle strutture di calcestruzzo" – EN 1992
Eurocodice 3	"Progettazione delle strutture in acciaio" – EN 1993
Eurocodice 5	"Progettazione delle strutture in legno" – EN 1995
Eurocodice 7	"Progettazione geotecnica" – EN 1997
Eurocodice 8	"Progettazione delle strutture per la resistenza sismica" EN 1998
CNR-DT 206 R1/2018	"Istruzioni per la Progettazione, l'Esecuzione ed il Controllo delle Strutture in Legno"
CNR-DT 207/2018	"Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni"

3. MATERIALI

Si riportano di seguito le caratteristiche dei principali materiali utilizzati nelle verifiche degli elementi strutturali.

3.1. Cemento Armato

3.1.1. Classe di esposizione e copriferro minimo

In accordo con la normativa vigente viene definito il valore di copriferro e classe di esposizione delle opere in calcestruzzo presenti all'interno del progetto.

Si riporta in seguito un estratto della normativa che definisce i valori minimi di copriferro in base alla classe di esposizione dell'elemento considerato (necessario aumentare 2 classi se vita utile pari a 100 anni):

- **CLASSI PER CORROSIONE DOVUTA A CARBONATAZIONE**

Denominazione della classe	Descrizione dell'ambiente	Esempi informativi di situazioni a cui possono applicarsi le classi di esposizione
1 Assenza di rischio di corrosione o attacco		
X0	Per calcestruzzo privo di armatura o inserti metallici: tutte le esposizioni eccetto dove c'è gelo/disgelo, abrasione o attacco chimico. Per calcestruzzo con armatura o inserti metallici: molto asciutto.	Calcestruzzo all'interno di edifici con umidità dell'aria molto bassa
2 Corrosione indotta da carbonatazione		
Nel caso in cui il calcestruzzo contenente armature o inserti metallici sia esposto all'aria e all'umidità, l'esposizione sarà classificata nel modo seguente: Nota Le condizioni di umidità si riferiscono a quelle presenti nel copriferro o nel ricoprimento di inserti metallici, ma in molti casi si può considerare che tali condizioni riflettano quelle dell'ambiente circostante. In questi casi la classificazione dell'ambiente circostante può essere adeguata. Questo può non essere il caso se c'è una barriera fra il calcestruzzo e il suo ambiente.		
XC1	Asciutto o permanentemente bagnato	Calcestruzzo all'interno di edifici con bassa umidità relativa Calcestruzzo costantemente immerso in acqua
XC2	Bagnato, raramente asciutto	Superfici di calcestruzzo a contatto con acqua per lungo tempo Molte fondazioni
XC3	Umidità moderata	Calcestruzzo all'interno di edifici con umidità relativa dell'aria moderata oppure elevata Calcestruzzo esposto all'esterno protetto dalla pioggia
XC4	Ciclicamente bagnato ed asciutto	Superfici di calcestruzzo soggette al contatto con acqua, non nella classe di esposizione XC2

Descrizione classi di esposizione XC – estratto UNI EN 206-1

Di seguito si riportano le classi di riferimento per gli elementi indicati (in riferimento alla tipologia di classe di esposizione XC):

Elemento	Classe di esposizione XC
Pali di fondazione	XC2
Fondazioni superficiali	XC2
Strutture in elevazione	XC4

- **CLASSI PER CORROSIONE DOVUTA A PRESENZA DI CLORURI**

3 Corrosione indotta da cloruri esclusi quelli provenienti dall'acqua di mare		
Qualora il calcestruzzo contenente armature o altri inserti metallici sia soggetto al contatto con acqua contenente cloruri, inclusi i sali antigelo, con origine diversa dall'acqua di mare, l'esposizione sarà classificata come segue: Nota In riferimento alle condizioni di umidità vedere anche sezione 2 del presente prospetto.		
XD1	Umidità moderata	Superfici di calcestruzzo esposte a nebbia salina
XD2	Bagnato, raramente asciutto	Piscine Calcestruzzo esposto ad acque industriali contenenti cloruri
XD3	Ciclicamente bagnato ed asciutto	Parti di ponti esposte a spruzzi contenenti cloruri Pavimentazioni Pavimentazioni di parcheggi
4 Corrosione indotta da cloruri presenti nell'acqua di mare		
Qualora il calcestruzzo contenente armature o altri inserti metallici sia soggetto al contatto con cloruri presenti nell'acqua di mare oppure con aria che trasporta sali derivanti dall'acqua di mare, l'esposizione sarà classificata come segue:		
XS1	Esposto a nebbia salina ma non in contatto diretto con acqua di mare	Strutture prossime oppure sulla costa
XS2	Permanentemente sommerso	Parti di strutture marine
XS3	Zone esposte alle onde oppure alla marea	Parti di strutture marine

Descrizione classi di esposizione XD/XS – estratto UNI EN 206-1

Di seguito si riportano le classi di riferimento per gli elementi indicati (in riferimento alla tipologia di classe di esposizione XD/XS):

Elemento	Classe di esposizione XC
Pali di fondazione	XS1
Fondazioni superficiali	XS1
Strutture in elevazione	XS1

Vista la vicinanza delle strutture con la costa, si è scelto di considerare la classe XS1 in quanto le strutture (anche di fondazione) possono essere esposte alla nebbia salina.

- **CLASSI PER CORROSIONE DOVUTA A PRESENZA DI CICLO GELO/DISGELO**

Denominazione della classe	Descrizione dell'ambiente	Esempi informativi di situazioni a cui possono applicarsi le classi di esposizione
5 Attacco dei cicli gelo/disgelo con o senza sali disgelanti		
Qualora il calcestruzzo bagnato sia esposto ad un attacco significativo dovuto a cicli di gelo/disgelo, l'esposizione sarà classificata come segue:		
XF1	Moderata saturazione d'acqua, senza impiego di agente antigelo	Superfici verticali di calcestruzzo esposte alla pioggia e al gelo
XF2	Moderata saturazione d'acqua, con uso di agente antigelo	Superfici verticali di calcestruzzo di strutture stradali esposte al gelo e nebbia di agenti antigelo
XF3	Elevata saturazione d'acqua, senza agente antigelo	Superfici orizzontali di calcestruzzo esposte alla pioggia e al gelo
XF4	Elevata saturazione d'acqua, con agente antigelo oppure acqua di mare	Strade e impalcati da ponte esposti agli agenti antigelo Superfici di calcestruzzo esposte direttamente a nebbia contenente agenti antigelo e al gelo

Descrizione classi di esposizione XF – estratto UNI EN 206-1

Si è considerato di escludere tale classe in quanto il sito non appare soggetto a significativi cicli gelo/disgelo.

- **CLASSI PER CORROSIONE DOVUTA AD ATTACCO CHIMICO**

6 Attacco chimico		
Qualora il calcestruzzo sia esposto all'attacco chimico che si verifica nel terreno naturale e nell'acqua del terreno avente caratteristiche definite nel prospetto 2, l'esposizione verrà classificata come è indicato di seguito. La classificazione dell'acqua di mare dipende dalla località geografica; perciò si dovrà applicare la classificazione valida nel luogo di impiego del calcestruzzo. Nota Può essere necessario uno studio speciale per stabilire le condizioni di esposizione da applicare quando si è: - al di fuori dei limiti del prospetto 2; - in presenza di altri aggressivi chimici; - in presenza di terreni o acque inquinati da sostanze chimiche; - in presenza della combinazione di elevata velocità dell'acqua e delle sostanze chimiche del prospetto 2.		
XA1	Ambiente chimico debolmente aggressivo secondo il prospetto 2	
XA2	Ambiente chimico moderatamente aggressivo secondo il prospetto 2	
XA3	Ambiente chimico fortemente aggressivo secondo il prospetto 2	

Descrizione classi di esposizione XA – estratto UNI EN 206-1

Per determinare la presenza di tali condizioni si fa riferimento alla tabella riportata nel prospetto 2 della normativa di riferimento dove sono riportati i valori limite degli elementi chimici determinanti un ambiente aggressivo:

Gli ambienti chimicamente aggressivi classificati di seguito sono basati sul suolo naturale e per acqua nel terreno a temperature dell'acqua/terreno comprese tra 5 °C e 25 °C ed una velocità dell'acqua sufficientemente bassa da poter essere approssimata a condizioni statiche.
La condizione più gravosa per ognuna delle condizioni chimiche determina la classe di esposizione.
Se due o più caratteristiche di aggressività appartengono alla stessa classe, l'esposizione sarà classificata nella classe più elevata successiva, salvo il caso che uno studio specifico provi che ciò non è necessario.

Caratteristica chimica	Metodo di prova di riferimento	XA1	XA2	XA3
Acqua nel terreno				
SO_4^{2-} mg/l	EN 196-2	≥200 e ≤600	>600 e ≤3 000	>3 000 e ≤6 000
pH	ISO 4316	≤6,5 e ≥5,5	<5,5 e ≥4,5	<4,5 e ≥4,0
CO_2 mg/l aggressiva	prEN 13577:1999	≥15 e ≤40	>40 e ≤100	>100 fino a saturazione
NH_4^+ mg/l	ISO 7150-1 oppure ISO 7150-2	≥15 e ≤30	>30 e ≤60	>60 e ≤100
Mg^{2+} mg/l	ISO 7980	≥300 e ≤1 000	>1 000 e ≤3 000	>3 000 fino a saturazione
Terreno				
SO_4^{2-} mg/kg[a] totale	EN 196-2[b]	≥2 000 e ≤3 000[c]	>3 000[c] e ≤12 000	>12 000 e ≤24 000
Acidità ml/kg	DIN 4030-2	>200 Baumann Gully	Non incontrato in pratica	

a) I terreni argillosi con una permeabilità minore di 10^{-5} m/s possono essere classificati in una classe inferiore.
b) Il metodo di prova prescrive l'estrazione di SO_4^{2-} mediante acido cloridrico; in alternativa si può usare l'estrazione con acqua se nel luogo di impiego del calcestruzzo c'è questa pratica.
c) Il limite di 3 000 mg/kg deve essere ridotto a 2 000 mg/kg se esiste il rischio di accumulo di ioni solfato nel calcestruzzo causato da cicli di essiccamento/bagnatura oppure suzione capillare.

Valori limite per classi di esposizione XA – estratto UNI EN 206-1 (prospetto 2)

Un riscontro a tali valori può essere individuato all'interno della relazione geologica dove si riportano i risultati delle analisi svolte sulle acque nel terreno. Si riporta la tabella riepilogativa in seguito:

Parametro ricercato	Unità di Misura	Valore
Solfato	mg/l	54
pH	unità pH	7,6
Anidride carbonica CO2	mg/l	0,73
Ammonio	mg/l	0,50
Magnesio	mg/l	31

Analisi acque nel terreno – estratto relazione geologica

I valori indicati risultano essere al di sotto dei valori limite per tutte le condizioni chimiche indicate.

Si ritiene pertanto di escludere tale condizione di esposizione per le strutture in calcestruzzo.

Definizioni caratteristiche minime calcestruzzo

Per gli elementi finora definiti si definiscono quindi le caratteristiche minime del calcestruzzo coerentemente con la classe di esposizione scelta.

Le caratteristiche minime sono riportate nel prospetto F.1 contenuto in UNI EN 206-1 e che viene riproposto i seguito:

	Classi di esposizione																	
	Nessun rischio di corrosione dell'armatura	Corrosione delle armature indotta dalla carbonatazione				Corrosione delle armature indotta da cloruri						Attacco da cicli di gelo/disgelo				Ambiente aggressivo per attacco chimico		
						Acqua di mare			Cloruri provenienti da altre fonti									
	X0	XC1	XC2	XC3	XC4	XS1	XS2	XS3	XD1	XD2	XD3	XF1	XF2	XF3	XF4	XA1	XA2	XA3
Massimo rapporto a/c	-	0,60		0,55	0,50	0,50	0,45		0,55	0,50	0,45	0,50	0,50		0,45	0,55	0,50	0,45
Minima classe di resistenza*)	C12/15	C25/30		C28/35	C32/40	C32/40	C35/45		C28/35	C32/40	C35/45	C32/40	C25/30		C28/35	C28/35	C32/40	C35/45
Minimo contenuto di cemento (kg/m³)	-	300		320	340	340	360		320	340	360	320	340		360	320	340	360
Contenuto minimo in aria (%)													3,0[a]					
Altri requisiti												Aggregati conformi alla UNI EN 12620 di adeguata resistenza al gelo/disgelo				È richiesto l'impiego di cementi resistenti ai solfati[b]		

*) Nel prospetto 7 della UNI EN 206-1 viene riportata la classe C8/10 che corrisponde a specifici calcestruzzi destinati a sottofondazioni e ricoprimenti. Per tale classe dovrebbero essere definite le perscrizioni di durabilità nei riguardi di acque o terreni aggressivi.

a) Quando il calcestruzzo non contiene aria aggiunta, le sue prestazioni devono essere verificate rispetto ad un calcestruzzo aerato per il quale è provata la resistenza al gelo/disgelo, da determinarsi secondo UNI 7087, per la relativa classe di esposizione.

b) Qualora la presenza di solfati comporti le classi di esposizione XA2 e XA3 è essenziale utilizzare un cemento resistente ai solfati secondo UNI 9156.

Prospetto F.1. – estratto UNI EN 206-1

Per tutti gli elementi strutturali è risultato che la classe di esposizione peggiorativa è quella XS1 da cui si ricaveranno quindi i valori delle caratteristiche minime del materiale.

Definizioni classe strutturale e copriferro minimo

Si definisce inoltre la classe strutturale da cui sarà definito il valore minimo di copriferro da utilizzare negli elementi strutturali. La classe strutturale di partenza per gli elementi strutturali è la S4 che potrà essere poi modificata secondo i parametri riassunti nella tabella riportata in seguito:

CRITERIO	CLASSE DI ESPOSIZIONE AMBIENTALE SECONDO UNI 11104						
	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
VITA UTILE DI PROGETTO DI 100 ANNI	Aumentare di 2 classi	Aumentare di 2 classi	Aumentare di 2 classi	Aumentare di 2 classi	Aumentare di 2 classi	Aumentare di 2 classi	Aumentare di 2 classi
CLASSE DI RESISTENZA	≥ C30/37 Ridurre di 1 classe	≥ C30/37 Ridurre di 1 classe	≥ C35/45 Ridurre di 1 classe	≥ C40/50 Ridurre di 1 classe	≥ C40/50 Ridurre di 1 classe	≥ C40/50 Ridurre di 1 classe	≥ C45/55 Ridurre di 1 classe
ELEMENTO DI FORMA SIMILE AD UNA SOLETTA (posizione delle armature non influenzata dal processo costruttivo)	Ridurre di 1 classe	Ridurre di 1 classe	Ridurre di 1 classe	Ridurre di 1 classe	Ridurre di 1 classe	Ridurre di 1 classe	Ridurre di 1 classe
É ASSICURATO UN CONTROLLO DI QUALITA' SPECIALE DELLA PRODUZIONE DEL CALCESTRUZZO	Ridurre di 1 classe	Ridurre di 1 classe	Ridurre di 1 classe	Ridurre di 1 classe	Ridurre di 1 classe	Ridurre di 1 classe	Ridurre di 1 classe

Parametri per modifica classe strutturale – estratto UNI EN 1992-1-2

	CLASSE DI ESPOSIZIONE AMBIENTALE SECONDO UNI 11104						
CLASSE STRUTTURALE	X0	XC1	XC2/XC3	XC4	XD1/XS1	XD2/XS2	XD3/XS3
S1	10 (10)	10(15)	10(20)	15(25)	20(30)	25(35)	30(40)
S2	10 (10)	10(15)	15(25)	20(30)	25(35)	30(40)	35(45)
S3	10 (10)	10(20)	20(30)	25(35)	30(40)	35(45)	40(50)
S4	10 (10)	15(25)	25(35)	30(40)	35(45)	40(50)	45(55)
S5	15 (15)	20(30)	30(40)	35(45)	40(50)	45(55)	50(60)
S6	20 (20)	25(35)	35(45)	40(50)	45(55)	50(60)	55(65)

Tabella 2 – Valori minimi del copriferro ($c_{min,dur}$) atti a garantire la durabilità in funzione della classe di esposizione ambientale e della classe strutturale dell'opera (i valori tra parentesi sono relativi alle opere in c.a.p.)

Valori minimi copriferro – estratto UNI EN 1992-1-2

Il valore minimo del copriferro dovrà poi essere aumentato di 10mm per considerare la tolleranza di posa delle barre di armatura.

Di conseguenza i valori minimo di copriferro e di classe per il calcestruzzo degli elementi di progetto vengono riassunti nella tabella di seguito:

ELEMENTO	CLASSE DI ESPOSIZIONE	CLASSE STRUTTURALE	COPRIFERRO MINIMO C_{min}	CLASSE MINIMA CLS
Fondazioni superficiali	XC2 + XS1	S6	55 mm	C32/40

3.1.1. Travi di fondazione

NTC - SEZIONE IN C.A.		
ELEMENTO :	**TRAVI DI FONDAZIONE**	
Caratteristiche dei materiali		
Calcestruzzo		C32/40
coefficiente parziale del materiale	γ_C	1.5
coefficiente riduttivo per effetti di lungo termine	α_{cc}	0.85
resistenza caratteristica cubica	R_{ck}	40.00 MPa
resistenza caratteristica cilindrica	f_{ck}	32.00 MPa
valore medio della resistenza a compressione cilindrica	$f_{cm} = f_{ck} + 8$	40.00 MPa
valore medio resistenza a trazione assiale calcestruzzo	f_{ctm}	3.03 MPa
per fck ≤ 50 MPa	$f_{ctm} = 0{,}3\ f_{ck}^{2/3}$	
per fck > 50 MPa	$f_{ctm} = 2{,}12\ \ln(1+ f_{cm}/10)$	
resistenza caratteristica a trazione (frattile 5%)	$f_{ctk;0,05} = 0{,}7\ f_{ctm}$	2.12 MPa
resistenza caratteristica a trazione (frattile 95%)	$f_{ctk;0,95} = 1.3\ f_{ctm}$	3.94 MPa
resistenza di calcolo del calcestruzzo (compressione)	$f_{cd} = \alpha_{cc}\ f_{ck} / \gamma_c$	18.13 MPa
resistenza di calcolo del calcestruzzo (taglio/trazione)	$f_{ctd} = f_{ctk;0,05} / \gamma_c$	1.41 MPa
modulo elastico del calcestruzzo	E_c	33346 MPa
classe di esposizione	XS1	
copriferro	5.5 cm	
Acciaio		B450C
coefficiente parziale del materiale	γ_s	1.15
tensione caratteristica di snervamento	f_{yk}	450.0 MPa
tensione di rottura	f_{tk}	540.0 MPa
resistenza di calcolo dell'acciaio (snervamento)	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s$	391.3 MPa
modulo elastico dell'acciaio	E_s	200000.0 MPa

3.2. Acciaio per carpenteria metallica

3.2.1. Classe di esecuzione per opere in carpenteria metallica

Viene definita la classe di esecuzione minima per le opere in carpenteria metallica in accordo a quanto previsto dalla norma UNI EN 1090-2. La definizione della classe di esecuzione delle opere in carpenteria metallica avviene attraverso la definizione di:

- *CLASSE DI IMPORTANZA*

Table B1 - Definition of consequences classes

Consequences Class	Description	Examples of buildings and civil engineering works
CC3	**High** consequence for loss of human life, *or* economic, social or environmental consequences **very great**	Grandstands, public buildings where consequences of failure are high (e.g. a concert hall)
CC2	**Medium** consequence for loss of human life, economic, social or environmental consequences **considerable**	Residential and office buildings, public buildings where consequences of failure are medium (e.g. an office building)
CC1	**Low** consequence for loss of human life, *and* economic, social or environmental consequences **small or negligible**	Agricultural buildings where people do not normally enter (e.g. storage buildings), greenhouses

Tabella di definizione classi di importanza (uni en 1990:2002 – Annex B)

- *CATEGORIA DI SERVIZIO*

Categorie	Criteri
SC1	- Strutture e componenti progettate solo per azioni quasi statiche (Esempio: Edifici) - Strutture e componenti con connessioni progettate per azioni sismiche nelle regioni con bassa attività sismica e in DCL * - Strutture e componenti progettate per le azioni a fatica degli apparecchi di sollevamento (classe S_0)**
SC2	- Strutture e componenti progettate per le azioni fatica secondo la EN 1993. [Esempi: Ponti stradali e ferroviari, gru (classe da S_1 a S_9)**, strutture suscettibili alle vibrazioni indotte dal vento, dalla folla o dalla rotazione di macchine]. - Strutture e componenti con connessioni progettate per azioni sismiche nelle regioni con media o alta attività sismica ed in DCM* e DCH*

* DCL, DCM, DCH: classi di duttilità secondo la EN 1998-1.
** Per la classificazione delle azioni a fatica degli apparecchi di sollevamento, vedere EN 1991-3 e EN 13001-1.

Tabella di definizione categorie di servizio (uni 1090-2)

- *CATEGORIE DI PRODUZIONE*

Categorie	Criteri
PC1	- Componenti non saldati realizzati da prodotti di qualsiasi classe di acciaio - Componenti saldati realizzati da prodotti di acciaio di classe minore a S355
PC2	- Componenti saldati realizzati da prodotti di acciaio di classe S355 e maggiore - Componenti essenziali per l'integrità strutturale che vengono assemblati mediante saldatura in cantiere - Componenti prodotti mediante formatura a caldo o che ricevono un trattamento termico durante la fabbricazione - Componenti di tralicci CHS che richiedono taglio finale del profilo

Tabella di definizione classi di importanza (uni en 1990:2002 – Annex B)

Pertanto si definisce la classe di esecuzione per le opere in carpenteria metallica secondo le classi definite in precedenza:

- classe di importanza CC3
- categoria di servizio SC1
- categoria di produzione PC2

Classi di importanza		CC1		CC2		CC3	
Categorie di servizio		SC1	SC2	SC1	SC2	SC1	SC2
Categorie di produzione	PC1	EXC1	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3 a)	EXC3 a)
	PC2	EXC2	EXC2	EXC2	EXC3	EXC3 a)	EXC4

a) EXC4 dovrebbe essere applicato a strutture speciali o strutture con conseguenze estreme di cedimento strutturale, come richiesto dalle disposizioni nazionali.

La classe di esecuzione determina i requisiti per le varie attività di esecuzione riportate nella presente norma europea. I requisiti sono riassunti nell'appendice A.3.

OPERA	CLASSE DI ESECUZIONE
CARPENTERIE TETTOIE AIR-SIDE	EXC3

3.2.2. Strutture in elevazione

Le strutture in carpenteria metallica verranno realizzate utilizzando un acciaio tipo **S355.**

Nei calcoli si considerano i valori nominali delle tensioni caratteristiche di snervamento f_{yk} e di rottura f_{tk} riportati di seguito:

Norme e qualità degli acciai	Spessore nominale dell'elemento			
UNI EN 10025-2	t < 40mm		40mm < t < 80mm	
	f_{yk} [MPa]	f_{tk} [MPa]	f_{yk} [MPa]	f_{tk} [MPa]
S 355	355	510	335	470
S 275	275	430	255	410
S 235	235	360	215	360

3.2.3. Elementi di collegamento

Nella realizzazione del progetto viene utilizzata la seguente bulloneria per collegamenti e tirafondi:

- **Classe 8.8 EN 15048** (serraggio non controllato):

Elemento	Riferimento
Viti	ISO 4014 oppure ISO 4017 (ex UNI 5737 e 5739)
Dadi	ISO 4032 (ex UNI 5588)
Rosette	ISO 6091 (ex UNI 6592)

Per le verifiche agli stati limite si assumono i seguenti valori di resistenza:

Classe della vite	Stato di tensione				
	$f_t[N/mm^2]$	$f_y[N/mm^2]$	$f_{k,N}[N/mm^2]$	$f_{d,N}[N/mm^2]$	$f_{d,V}[N/mm^2]$
8.8	800	640	560	560	396
10.9	1000	900	700	700	495

$f_{k,N}$ è assunto pari al minore dei due valori $f_{k,N} = 0{,}7 f_t$ e $f_t = f_y$ essendo $f_t$ed f_y le tensioni di rottura e di snervamento

$f_{d,N} = f_{k,N}$ resistenza di calcolo a trazione

$f_{d,V} = f_{k,N}/\sqrt{2}$ resistenza di calcolo a taglio

4. IPOTESI DI CALCOLO

Nel presente paragrafo vengono definiti i parametri della struttura relativamente alla destinazione d'uso della stessa.

4.1. Vita nominale di progetto

Il tipo di costruzione rientra nella tipologia *"3 – Costruzioni con livelli di prestazioni elevati"* in accordo alla Tab. 2.4.I delle NTC'18. A questa tipologia di costruzioni viene assegnato un valore minimo di vita nominale pari a 100 anni.

Tab. 2.4.I – *Valori minimi della Vita nominale* V_N *di progetto per i diversi tipi di costruzioni*

	TIPI DI COSTRUZIONI	Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

4.2. Classe d'uso

Con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, alla costruzione viene data una "*Classe d'uso IV – Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti*".

Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

A cui viene associato un coefficiente d'uso $C_U = 2$ in accordo alla Tab. 2.4.II.

Tab. 2.4.II – *Valori del coefficiente d'uso* C_U

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

4.3. Periodo di riferimento per l'azione sismica

Il periodo di riferimento V_R per la valutazione dell'azione sismica viene determinato in accordo al §2.4.3 come prodotto tra il parametro vita nominale V_N e il coefficiente d'uso C_U.

$$V_R = V_N \cdot C_U = 100 \cdot 2 = 200\ anni$$

4.4. Limiti di deformazione verticale

Per la struttura della pensilina Land-side si fa riferimento ad i limiti di deformazione imposti dalla normativa vigente NTC2018.

Per le azioni statiche si considerano i limiti indicati al capitolo §4.2.4.2.2.

Tab. 4.2.XII - *Limiti di deformabilità per gli elementi di impalcato delle costruzioni ordinarie*

Elementi strutturali	Limiti superiori per gli spostamenti verticali	
	$\frac{\delta_{max}}{L}$	$\frac{\delta_2}{L}$
Coperture in generale	$\frac{1}{200}$	$\frac{1}{250}$
Coperture praticabili	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{300}$
Solai in generale	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{300}$
Solai o coperture che reggono intonaco o altro materiale di finitura fragile o tramezzi non flessibili	$\frac{1}{250}$	$\frac{1}{350}$
Solai che supportano colonne	$\frac{1}{400}$	$\frac{1}{500}$
Nei casi in cui lo spostamento può compromettere l'aspetto dell'edificio	$\frac{1}{250}$	

In caso di specifiche esigenze tecniche e/o funzionali tali limiti devono essere opportunamente ridotti.

Tab. 4.2.XIII - *Limiti di deformabilità per costruzioni ordinarie soggette ad azioni orizzontali*

Tipologia dell'edificio	Limiti superiori per gli spostamenti orizzontali	
	$\frac{\delta}{h}$	$\frac{\Delta}{H}$
Edifici industriali monopiano senza carroponte	$\frac{1}{150}$	/
Altri edifici monopiano	$\frac{1}{300}$	/
Edifici multipiano	$\frac{1}{300}$	$\frac{1}{500}$

In caso di specifiche esigenze tecniche e/o funzionali tali limiti devono essere opportunamente ridotti.

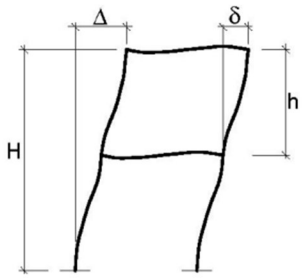


Fig. 4.2.4 - *Definizione degli spostamenti orizzontali per le verifiche in esercizio*

Nello specifico si considereranno i limiti definiti per le coperture in generale di L/200 per le deformazioni verticali in combinazione RARA mentre il limite di L/250 per le deformazioni verticali dovute ai soli carichi accidentali.

Lo spostamento orizzontale dovuto ad azioni orizzontali (non sismiche) sarà limitato a H/300.

5. AZIONI VARIABILI SULLE STRUTTURE

Nel presente capitolo si determinano le azioni variabili legate agli effetti ambientali sulla struttura ed in particolare: neve, vento e sisma.

5.1. Azione della neve

CALCOLO DELL'AZIONE DELLA NEVE

○	**Zona I - Alpina** Aosta, Belluno, Bergamo, Biella, Bolzano, Brescia, Como, Cuneo, Lecco, Pordenone, Sondrio, Torino, Trento, Udine, Verbania, Vercelli, Vicenza.	q_{sk} = 1,50 kN/mq $a_s \leq 200$ m q_{sk} = 1,39 $[1+(a_s/728)^2]$ kN/mq $a_s > 200$ m
○	**Zona I - Mediterranea** Alessandria, Ancona, Asti, Bologna, Cremona, Forlì-Cesena, Lodi, Milano, Modena, Novara, Parma, Pavia, Pesaro e Urbino, Piacenza, Ravenna, Reggio Emilia, Rimini, Treviso, Varese.	q_{sk} = 1,50 kN/mq $a_s \leq 200$ m q_{sk} = 1,35 $[1+(a_s/602)^2]$ kN/mq $a_s > 200$ m
○	**Zona II** Arezzo, Ascoli Piceno, Bari, Campobasso, Chieti, Ferrara, Firenze, Foggia, Genova, Gorizia, Imperia, Isernia, La Spezia, Lucca, Macerata, Mantova, Massa Carrara, Padova, Perugia, Pescara, Pistoia, Prato, Rovigo, Savona, Teramo, Trieste, Venezia, Verona.	q_{sk} = 1,00 kN/mq $a_s \leq 200$ m q_{sk} = 0,85 $[1+(a_s/481)^2]$ kN/mq $a_s > 200$ m
◉	**Zona III** Agrigento, Avellino, Benevento, Brindisi, Cagliari, Caltanisetta, Carbonia-Iglesias, Caserta, Catania, Catanzaro, Cosenza, Crotone, Enna, Frosinone, Grosseto, L'Aquila, Latina, Lecce, Livorno, Matera, Medio Campidano, Messina, Napoli, Nuoro, Ogliastra, Olbia Tempio, Oristano, Palermo, Pisa, Potenza, Ragusa, Reggio Calabria, Rieti, Roma, Salerno, Sassari, Siena, Siracusa, Taranto, Terni, Trapani, Vibo Valentia, Viterbo.	q_{sk} = 0,60 kN/mq $a_s \leq 200$ m q_{sk} = 0,51 $[1+(a_s/481^2]$ kN/mq $a_s > 200$ m

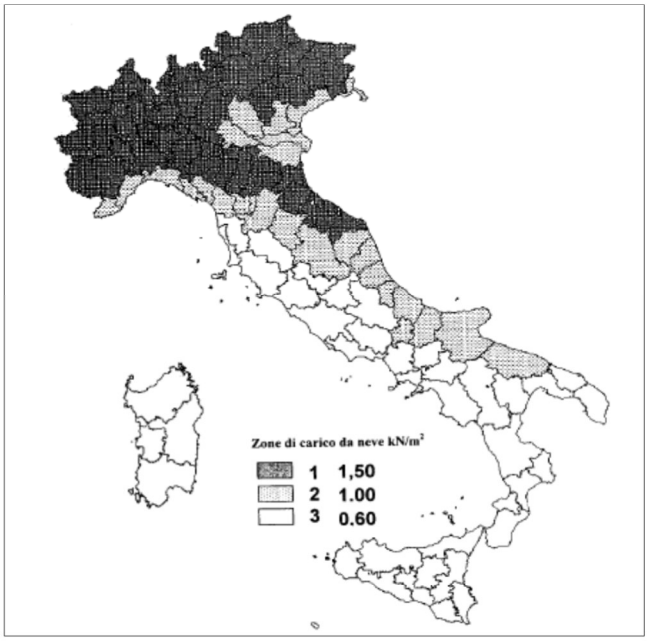
q_s (carico neve sulla copertura [N/mq]) = $\mu_i . q_{sk} . C_E . C_t$

μ_i (coefficiente di forma)

q_{sk} (valore caratteristico della neve al suolo [kN/mq])

C_E (coefficiente di esposizione)

C_t (coefficiente termico)



Valore carratteristicio della neve al suolo

a_s (altitudine sul livello del mare [m])	14
q_{sk} (val. caratt. della neve al suolo [kN/mq])	0.60

Coefficiente termico

Il coefficiente termico può essere utilizzato per tener conto della riduzione del carico neve a causa dello scioglimento della stessa, causata dalla perdita di calore della costruzione. Tale coefficiente
tiene conto delle proprietà di isolamento termico del materiale utilizzato in copertura. In assenza di uno specifico e documentato studio, deve essere utilizzato **Ct = 1**.

Coefficiente di esposizione

Topografia	Descrizione	C_E
Normale	Aree in cui non è presente una significativa rimozione di neve sulla costruzione prodotta dal vento, a causa del terreno, altre costruzioni o alberi.	1

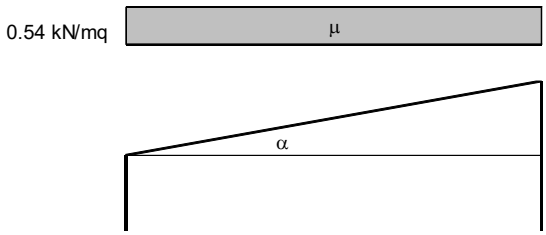
Valore del carico della neve al suolo

q_{s50} (carico della neve al suolo [kN/mq])	0.60
Tempo di ritorno [anni]	100
q_{sn} (carico della neve al suolo [kN/mq])	0.68

Coefficiente di forma (copertura ad una falda)

α (inclinazione falda [°])	0

μ	0.8



Dato il tipo di costruzione appartenente alla categoria "*3 – Costruzioni con livelli di prestazioni elevati*" secondo la tabella 2.4.I delle NTC'18, si ha una vita nominale minima di progetto $V_N = 100$ anni ed è perciò stato assunto un valore di riferimento del carico neve al suolo in accordo al C3.4.2 della Circolare Applicativa.

Si è inoltre assunta l'ipotesi di copertura a singola falda con fattore di forma $\mu = 0{,}80$.

5.2. Azione del vento

In questo paragrafo si definiscono i parametri e l'andamento della pressione del vento al netto dei coefficienti aerodinamici che verranno di volta in volta espressi in funzione della forma della struttura analizzata.

CALCOLO DELL'AZIONE DEL VENTO

3) Toscana, Marche, Umbria, Lazio, Abruzzo, Molise, Puglia, Campania, Basilicata, Calabria (esclusa la provincia di Reggio Calabria)

Zona	$v_{b,0}$ [m/s]	a_0 [m]	k_a [1/s]
3	27	500	0.02
a_s (altitudine sul livello del mare [m])			14
T_R (Tempo di ritorno)			100
$v_b = v_{b,0}$ per $a_s \le a_0$ $v_b = v_{b,0} + k_a (a_s - a_0)$ per $a_0 < a_s \le 1500$ m			
$\underline{v}_b$ (T_R = 50 [m/s])			27.000
α_R (T_R)			1.03924
v_b (T_R) = $v_b \times \alpha_R$ [m/s])			28.059

p (pressione del vento [N/mq]) = $q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$

q_b (pressione cinetica di riferimento [N/mq])

c_e (coefficiente di esposizione)

c_p (coefficiente di forma)

c_d (coefficiente dinamico)

Pressione cinetica di riferimento

$q_b = 1/2 \cdot \rho \cdot v_b^2$ (ρ = 1,25 kg/mc)

q_b [N/mq]	492.08

Coefficiente di forma

E' il coefficiente di forma (o coefficiente aerodinamico), funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento. Il suo valore può essere ricavato da dati suffragati da opportuna documentazione o da prove sperimentali in galleria del vento.

Coefficiente dinamico

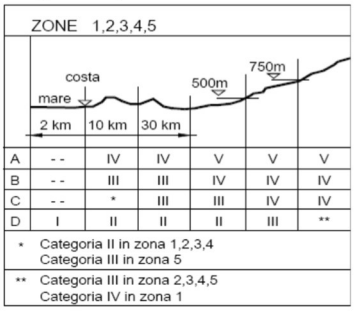
Esso può essere assunto autelativamente pari ad 1 nelle costruzioni di tipologia ricorrente, quali gli edifici di forma regolare non eccedenti 80 m di altezza ed i capannoni industriali, oppure può essere determinato mediante analisi specifiche o facendo riferimento a dati di comprovata affidabilità.

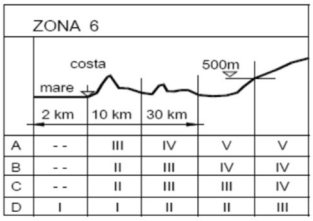
Coefficiente di esposizione

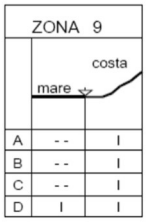
Classe di rugosità del terreno

D) Aree prive di ostacoli (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi,....)

Categoria di esposizione







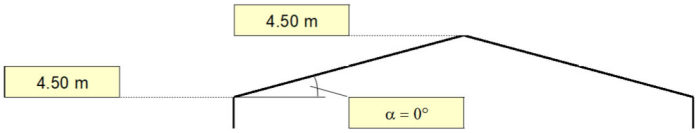
Zona	Classe di rugosità	a_s [m]
3	D	14

$c_e(z) = k_r^2 \cdot c_t \cdot \ln(z/z_0)\,[7 + c_t \cdot \ln(z/z_0)]$ per $z \ge z_{min}$

$c_e(z) = c_e(z_{min})$ per $z < z_{min}$

Cat. Esposiz.	k_r	z_0 [m]	z_{min} [m]	c_t
II	0.19	0.05	4	1

z [m]	c_e
z ≤ 4	1.801
z = 4.5	1.868
z = 4.5	1.868



La pressione esercitata dal vento viene presa in considerazione applicando i coefficienti di forza così come determinati al capitolo C3.3.8.2.1 della Circolare Applicativa e al punto G.6.1 della CNR-DT 207/2018, considerando la forma della copertura come una tettoia a falda singola.

Si assume che, dal momento che a monte della tettoia è prevista una parziale ostruzione dovuta al Nuovo Terminal Passeggeri, sia necessario considerare un grado di bloccaggio superiore a zero. Non avendo le falde della copertura inclinazioni superiori a 20° si ritiene di considerare a favore di sicurezza per il calcolo della pressione di progetto un grado di bloccaggio pari a 1.

Per la copertura si considerano le inclinazioni delle due falde della copertura rispettivamente pari a 4° per la copertura generale e pari a 9° per la copertura dei flaps d'ingresso. I valori dei coefficienti di forma risultano essere (coerentemente con il grado di bloccaggio dichiarato) pari a:

Tabella G.XII – Coefficienti di forza per tettoie a semplice falda (α in °).

Valori positivi	Tutti i valori di φ	$c_F = +0{,}2 + \alpha/30$
Valori negativi	φ = 0 φ = 1	$c_F = -0{,}5 - 1{,}3 \cdot \alpha/30$ $c_F = -1{,}4$

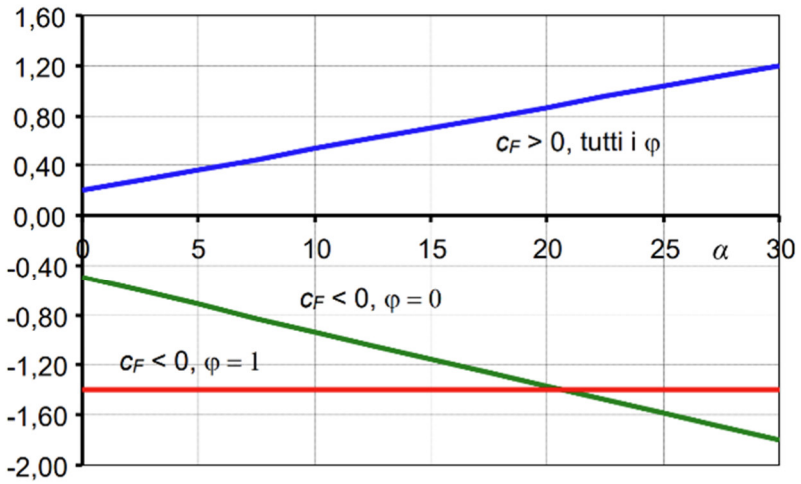


Figura G.26 – Coefficienti di pressione complessiva per tettoie a semplice falda.

I valori dei coefficienti di forma per le due falde sono pari a:

VALORI DEI COEFFICIENTI DI FORMA C_F		
	COPERTURA (α=4°)	FLAPS (α=9°)
Valori in pressione (+)	0.33	0.53
Valori di depressione (-)	1.4	1.4

Ottenendo pertanto che il carico applicato sulla superficie (kN/m^2) per l'azione del vento sulla copertura considerato da progetto sarà:

VALORI DELLE PRESSIONI DI PROGETTO (kN/m^2)		
	COPERTURA (α=4°)	FLAPS (α=9°)
Valori in pressione (+)	0.30	0.50
Valori di depressione (-)	1.30	1.30

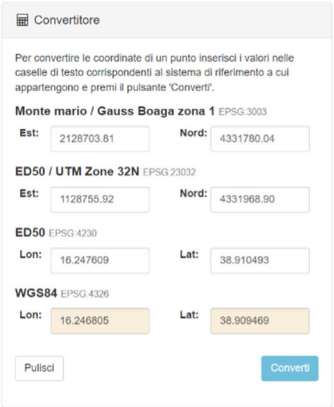
5.3. Azione del sisma

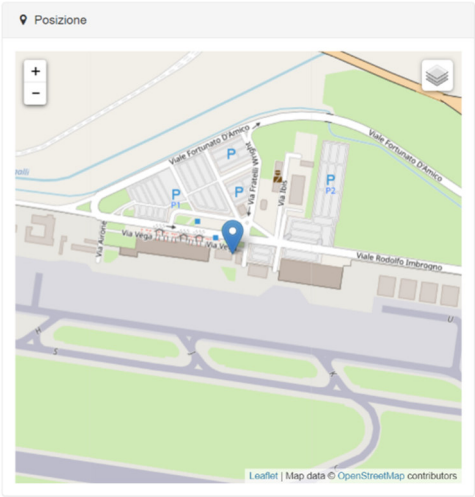
Per l'opera in oggetto si è assunto di considerare una classe d'uso IV in quanto considerato edificio strategico.

Si riportano nel seguito le caratteristiche legate al sito utilizzate per produrre l'azione sismica di progetto.

Tipo di costruzione *[Tab. 2.4.I NTC'18]*	3 – Costruzioni con livelli di prestazione elevati
Vita nominale *[Tab. 2.4.I NTC'18]*	$V_N = 100$ anni
Classe d'uso *[§2.4.2 NTC'18]*	IV – Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti
Coefficiente d'uso *[Tab. 2.4.II NTC'18]*	$C_u = 2$
Periodo di riferimento *[§2.4.3 NTC'18]*	$V_R = V_N \cdot C_u = 200$ anni
Categoria di suolo *[Tab.3.2.II NTC'18]*	C
Categoria topografica *[Tab. 3.2.III NTC'18]*	T1

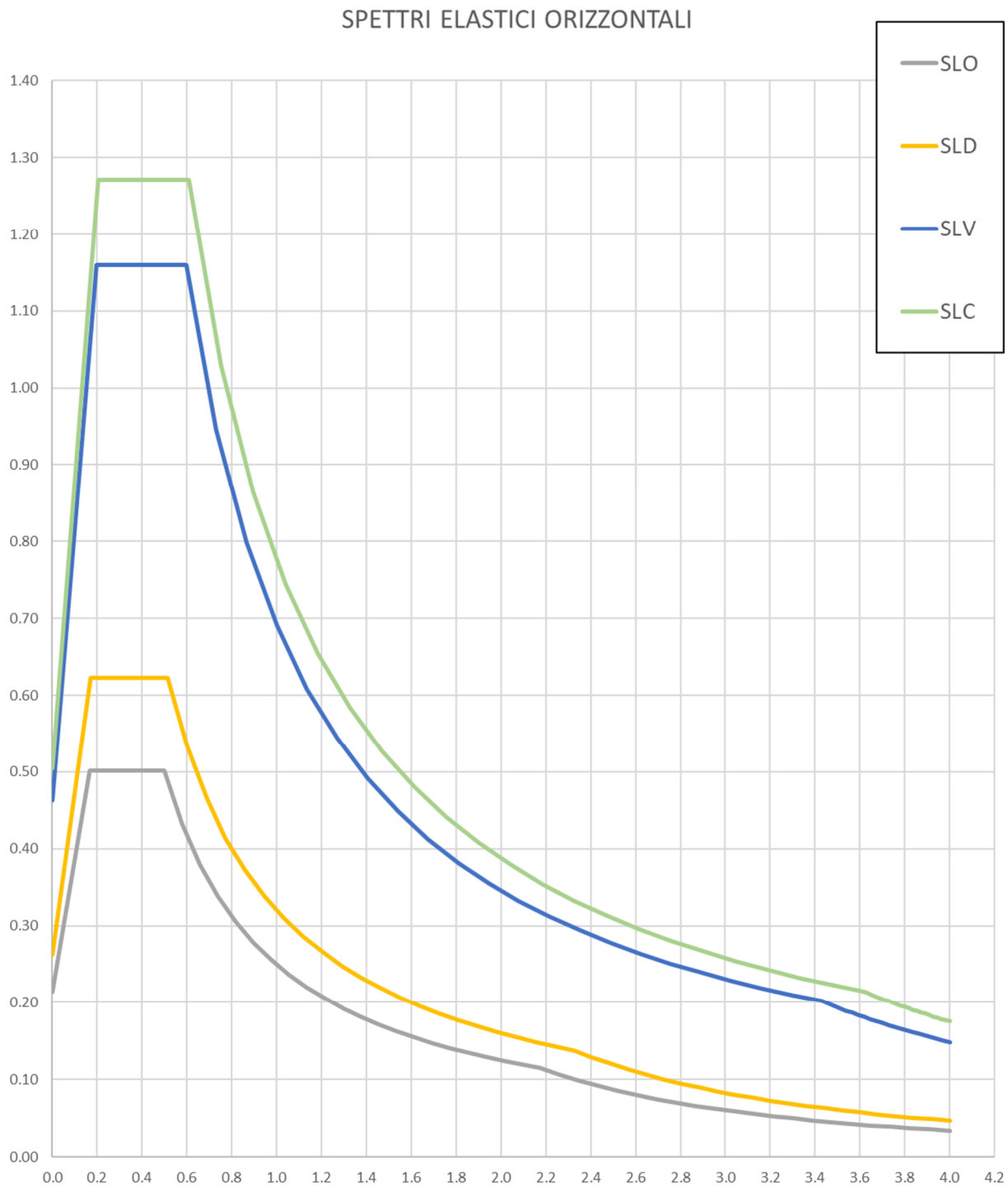
Le coordinate del sito preso come riferimento per la determinazione dei parametri dell'azione sismica sono di seguito riportate.





ED50	
Longitudine [°]	Latitudine [°]
16,247609	38,910493

Si riportano di seguito gli spettri elastici secondo NTC'18 in un unico grafico di confronto. Tali spettri saranno utilizzati nel seguito per la determinazione delle accelerazioni corrispondenti ai vari periodi di vibrazione delle strutture.



Gli spettri qui riportati sono spettri elastici, con fattore di comportamento unitario, nel seguito verranno riportati gli spettri di progetto con le necessarie ipotesi sul fattore di comportamento utilizzato.

5.4. Azione della temperatura

L'azione della temperatura viene considerata all'interno della struttura assumendo un valore di delta termico definito da normativa secondo la tipologia di struttura: in questo caso la struttura rientra nel caso di "struttura in acciaio esposta".

Il valore di azione termica da considerarsi ai fini della verifica viene definito da N.T.C.2018 §3.5.5. di cui si riporta un estratto:

3.5.5. AZIONI TERMICHE SUGLI EDIFICI

Nel caso in cui la temperatura non costituisca azione fondamentale per la sicurezza o per la efficienza funzionale della struttura è consentito tener conto, per gli edifici, della sola componente ΔT_u, ricavandola direttamente dalla Tab. 3.5.II.

Nel caso in cui la temperatura costituisca, invece, azione fondamentale per la sicurezza o per la efficienza funzionale della struttura, l'andamento della temperatura T nelle sezioni degli elementi strutturali deve essere valutato più approfonditamente studiando il problema della trasmissione del calore.

Tab. 3.5.II – *Valori di ΔT_u per gli edifici*

Tipo di struttura	ΔT_u
Strutture in c.a. e c.a.p. esposte	± 15 °C
Strutture in c.a. e c.a.p. protette	± 10 °C
Strutture in acciaio esposte	± 25 °C
Strutture in acciaio protette	± 15 °C

Si considera quindi come azione un delta termico pari a:

$$\Delta T = \pm 25°C$$

5.5. Combinazioni delle azioni

Le combinazioni fondamentali delle azioni che verranno applicate nelle verifiche agli stati limite, così come descritte al §2.5.3 NTC'18, vengono qui riportate.

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):
  $\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \ldots$ [2.5.1]
- Combinazione caratteristica, cosiddetta rara, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili:
  $G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \psi_{02} \cdot Q_{k2} + \psi_{03} \cdot Q_{k3} + \ldots$ [2.5.2]
- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:
  $G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \ldots$ [2.5.3]
- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:
  $G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \psi_{23} \cdot Q_{k3} + \ldots$ [2.5.4]
- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:
  $E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \ldots$ [2.5.5]
- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali A:
  $G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{k1} + \psi_{22} \cdot Q_{k2} + \ldots$ [2.5.6]

Gli effetti dell'azione sismica saranno valutati tenendo conto delle masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} Q_{kj}$. [2.5.7]

dove:

G1 = peso proprio di tutti gli elementi strutturali
G2 = peso proprio di tutti gli elementi non strutturali
Qk1 = valore caratteristico dell'azione variabile considerata come dominante
Qki = valore caratteristico dell'azione variabile che può agire contemporaneamente a quella dominante.

I valori dei coefficienti parziali delle azioni da assumere, salvo quanto diversamente espresso dalla norma in casi particolari, sono espressi nella Tab.2.6.I e di seguito riportati:

Tab. 2.6.I – *Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU*

		Coefficiente γ_F	EQU	A1	A2
Carichi permanenti G_1	Favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali G_2[(1)]	Favorevoli	γ_{G2}	0,8	0,8	0,8
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Azioni variabili Q	Favorevoli	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

(1) Nel caso in cui l'intensità dei carichi permanenti non strutturali o di una parte di essi (ad es. carichi permanenti portati) sia ben definita in fase di progetto, per detti carichi o per la parte di essi nota si potranno adottare gli stessi coefficienti parziali validi per le azioni permanenti.

con:

EQU è lo stato limite di equilibrio come corpo rigido;
A1 STR è lo stato limite di resistenza della struttura compresi gli elementi di fondazione;
A2 GEO è lo stato limite di resistenza del terreno.

I valori dei coefficienti di combinazioni delle azioni variabili per edifici civili ed industriali correnti sono riportati nella Tab.2.5.I:

Tab. 2.5.I – *Valori dei coefficienti di combinazione*

Categoria/Azione variabile	ψ_{0j}	ψ_{1j}	ψ_{2j}
Categoria A - Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B - Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C - Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D - Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E – Aree per immagazzinamento, uso commerciale e uso industriale Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F - Rimesse , parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G – Rimesse, parcheggi ed aree per il traffico di veicoli (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H - Coperture accessibili per sola manutenzione	0,0	0,0	0,0
Categoria I – Coperture praticabili	da valutarsi caso per caso		
Categoria K – Coperture per usi speciali (impianti, eliporti, ...)			
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

6. ANALISI DEI CARICHI

6.1. Pesi permanenti strutturali

Il peso proprio di tutti gli elementi modellati è determinato in automatico dal software di calcolo utilizzando le caratteristiche del materiale.

Il peso di tutti gli elementi strutturali non modellati viene applicato come carico esterno linearmente distribuito o superficiale a seconda dei criteri di modellazione.

Tali carichi verranno esplicitati nelle tabelle relative al riepilogo dei carichi.

6.2. Pesi permanenti non strutturali

Tutti gli elementi che non svolgono una funzione strutturale, ma che rappresentano solo un peso per le strutture portanti, vengono applicati mediante carichi esterni puntuali, distribuiti o superficiali sugli elementi modellati. Alcuni esempi di carichi permanenti non strutturali sono rappresentati dai pacchetti di finitura dei solai e dagli impianti.

Tali carichi verranno esplicitati nelle tabelle relative al riepilogo dei carichi.

6.3. Sovraccarichi

I sovraccarichi, o carichi imposti, sono legati alla destinazione d'uso dell'opera o di porzioni di essa e sono riportati in normativa alla Tab. 3.1.II.

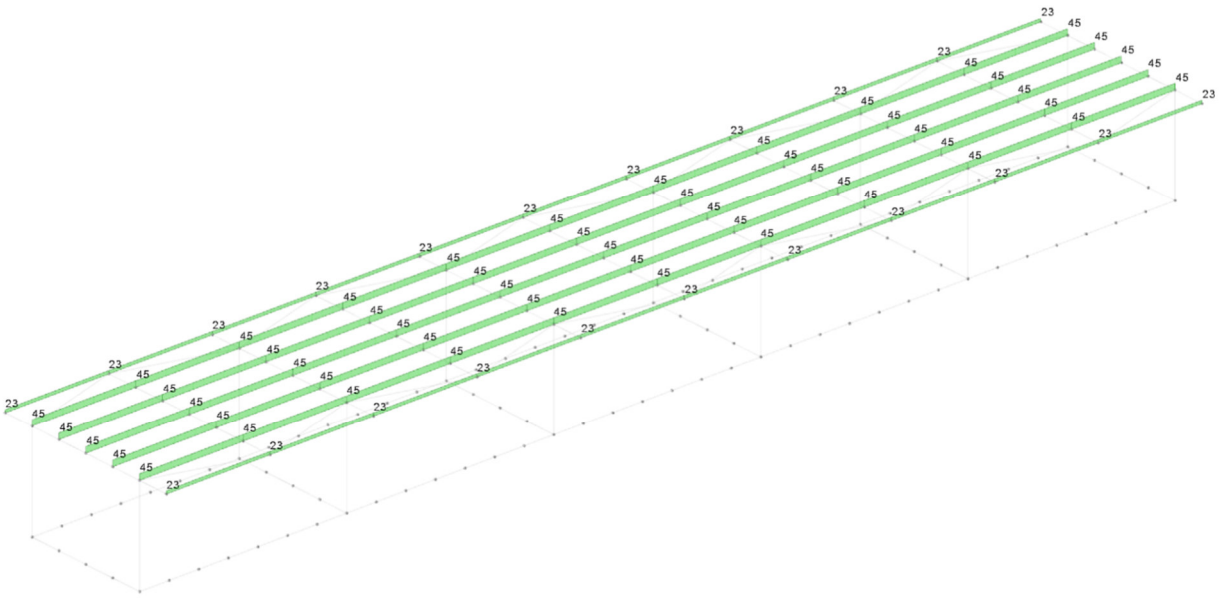
Tali carichi verranno esplicitati nelle tabelle relative al riepilogo dei carichi, esplicitando di volta in volta a che categoria appartengono.

6.4. Carichi solaio di superfice

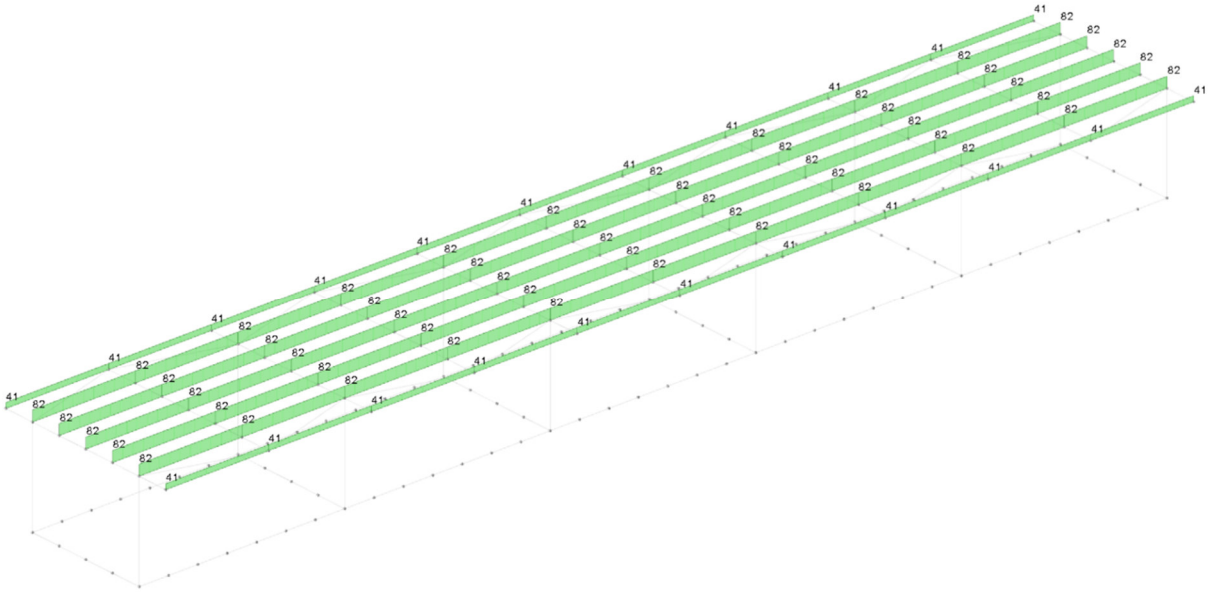
La tabella di seguito riportata riguarda i carichi distribuiti superficialmente sui vari elementi del modello e generalmente rappresentano gli elementi di solaio. Una rappresentazione schematica delle zone di carico è riportata negli elaborati grafici di progetto.

COPERTURA PENSILINA		
	Descrizione	**Carico [kN/m^2]**
G1	Pannello di copertura	0.15
	Totale G1	**0.15**
G2	Carichi appesi	0.20
	Totale G2	**0.20**
Q	Neve	0.55
	Q	**0.55**

Di seguito la ripartizione eseguita dal software del carico distribuito sugli elementi monodimensionali in proporzione all'interasse di riferimento.



Carichi superficiali permanenti non strutturali G_2



Carico superficiale sovraccarico neve Q_n

La pressione esercitata dal vento viene presa in considerazione applicando i coefficienti di forza così come determinati al capitolo C3.3.8.2.1 della Circolare Applicativa e al punto G.6.1 della CNR-DT 207/2018, considerando la forma della copertura come una tettoia a falda singola. Il grado di bloccaggio viene assunto $\emptyset = 0{,}6$ dal momento che a monte della tettoia è prevista una parziale ostruzione dovuta al Nuovo Terminal Passeggeri.

L' angolo della copertura risulta pari a: $\alpha = 4°$.

Tabella G.XII – Coefficienti di forza per tettoie a semplice falda (α in °).

Valori positivi	Tutti i valori di φ	$c_F = +0{,}2 + \alpha/30$
Valori negativi	φ = 0 φ = 1	$c_F = -0{,}5 - 1{,}3 \cdot \alpha/30$ $c_F = -1{,}4$

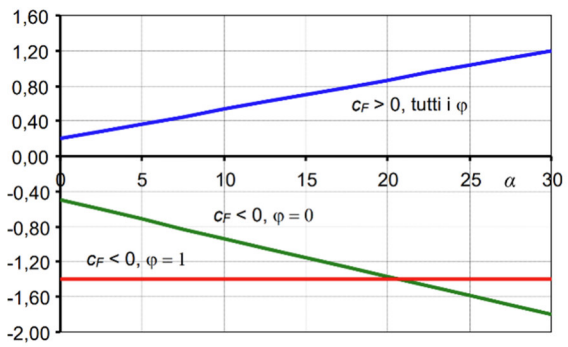


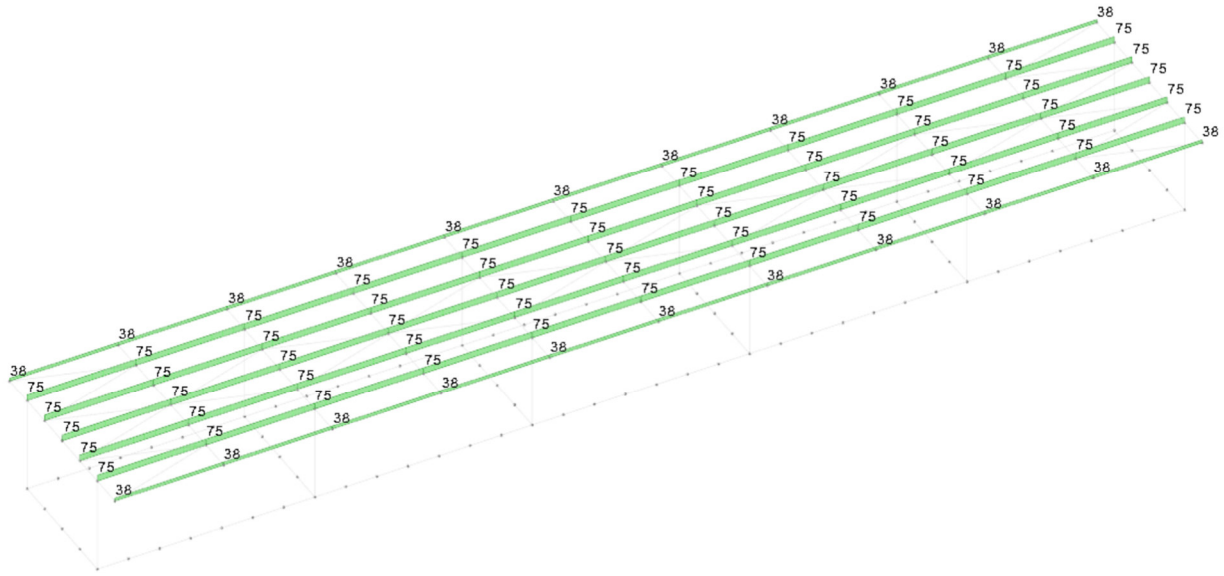
Figura G.26 – Coefficienti di pressione complessiva per tettoie a semplice falda.

Si ha in particolare:

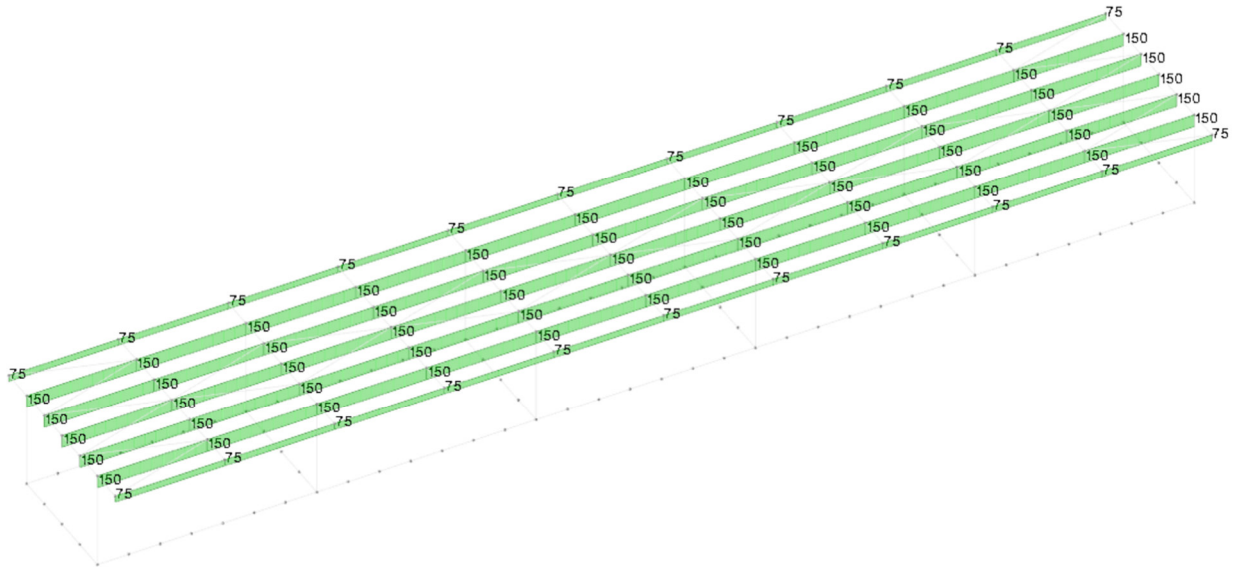
Vento in depressione sulla copertura $c_F = -1{,}25 \rightarrow \boldsymbol{p_{v^-} = -1,3\ kN/m^2}$

Vento in pressione sulla copertura $c_F = 0{,}33 \rightarrow \boldsymbol{p_{v^+} = +0,5\ kN/m^2}$

Il carico di pressione viene applicato uniformemente distribuito sulla copertura come carico di superfice.



Carico superficiale vento in pressione p_{v^-}



Carico superficiale vento in depressione p_{v^+}

7. VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Nel presente capitolo si andranno a determinare gli spettri di progetto utilizzati per la verifica degli elementi strutturali.

7.1. Verifica di regolarità in pianta

Le condizioni di verifica della regolarità in pianta vengono riassunte nella seguente tabella che rispetta le indicazioni previste al 7.2.1 delle NTC'18.

REGOLARITA' IN PIANTA		NO
a)	La distribuzione di masse e rigidezze è approssimativamente simmetrica rispetto a due direzioni ortogonali e la forma in pianta è compatta, ossia il contorno di ogni orizzontamento è convesso; il requisito può ritenersi soddisfatto, anche in presenza di rientranze in pianta, quando esse non influenzano significativamente la rigidezza nel piano dell'orizzontamento e, per ogni rientranza, l'area compresa tra il perimetro dell'orizzontamento e la linea convessa circoscritta all'orizzontamento non supera il 5% dell'area dell'orizzontamento;	NO
b)	Il rapporto tra i lati del rettangolo circoscritto alla pianta di ogni orizzontamento è inferiore a 4;	NO
c)	Ciascun orizzontamento ha una rigidezza nel proprio piano tanto maggiore della corrispondente rigidezza degli elementi strutturali verticali da potersi assumere che la sua deformazione in pianta influenzi in modo trascurabile la distribuzione delle azioni sismiche tra questi ultimi e ha resistenza sufficiente a garantire l'efficacia di tale distribuzione.	SI

7.2. Verifica di regolarità in elevazione

Le condizioni di verifica della regolarità in elevazione vengono riassunte nella seguente tabella che rispetta le indicazioni previste al 7.2.1 delle NTC'18.

REGOLARITA' IN ELEVAZIONE		SI
d)	Tutti i sistemi resistenti alle azioni orizzontali si estendono per tutta l'altezza della costruzione o, se sono presenti parti aventi differenti altezze, fino alla sommità della rispettiva parte dell'edificio;	SI
e)	Massa e rigidezza rimangono costanti o variano gradualmente, senza bruschi cambiamenti, dalla base alla sommità della costruzione (le variazioni di massa da un orizzontamento all'altro non superano il 25%, la rigidezza non si riduce da un orizzontamento a quello sovrastante più del 30% e non aumenta più del 10%); ai fini della rigidezza si possono considerare regolari in altezza strutture dotate di pareti o nuclei in c.a. o di pareti e nuclei in muratura di sezione costante sull'altezza o di telai controventati in acciaio, ai quali sia affidato almeno il 50% dell'azione sismica alla base;	SI
f)	Il rapporto tra la capacità e la domanda allo SLV non è significativamente diverso, in termini di resistenza, per orizzontamenti successivi (tale rapporto, calcolato per un generico orizzontamento, non deve differire più del 30% dall'analogo rapporto calcolato per l'orizzontamento adiacente); può fare eccezione l'ultimo orizzontamento di strutture intelaiate di almeno tre orizzontamenti;	SI
g)	Eventuali restringimenti della sezione orizzontale della costruzione avvengano con continuità da un orizzontamento al successivo; oppure avvengano in modo che il rientro di un orizzontamento non superi il 10% della dimensione corrispondente all'orizzontamento immediatamente sottostante, né il 30% della dimensione corrispondente al primo orizzontamento. Fa eccezione l'ultimo orizzontamento di costruzioni di almeno quattro orizzontamenti, per il quale non sono previste limitazioni di restringimento.	SI

7.3. Classe di duttilità

Le Norme Tecniche definiscono due tipi di comportamento per le costruzione soggette all'azione sismica, non dotate di appositi dispositivi d'isolamento e/o dissipativi:

a) Comportamento strutturale **non dissipativo**;

b) Comportamento strutturale **dissipativo**.

Per **comportamento strutturale non dissipativo**, nella valutazione della domanda tutte le membrature e i collegamenti rimangono in campo elastico o sostanzialmente elastico; la domanda derivante dall'azione sismica e dalle altre azioni è calcolata, in funzione dello stato limite cui ci si riferisce, ma indipendentemente dalla tipologia strutturale e senza tener conto delle non linearità di materiale, attraverso un modello elastico.

Per **comportamento strutturale dissipativo**, nella valutazione della domanda un numero elevato di membrature e/o collegamenti evolvono in campo plastico, mentre la restante parte della struttura rimane in campo elastico o sostanzialmente elastico; la domanda derivante dall'azione sismica e dalle altre azioni è calcolata, in funzione dello stato limite cui ci si riferisce e della tipologia strutturale, tenendo conto della capacità dissipativa legata alle non linearità di materiale. Se la capacità dissipativa è presa in conto implicitamente attraverso il fattore di comportamento q, si adotta un modello elastico; se la capacità dissipativa è presa in conto esplicitamente, si adotta un'adeguata legge costitutiva.

Una costruzione a comportamento strutturale dissipativo deve essere progettata per conseguire una delle due Classi di Duttilità (CD):

- Classe di Duttilità Alta (CD "A"), ad elevata capacità dissipativa;

- Classe di Duttilità Media (CD "B"), a media capacità dissipativa.

La struttura in esame è stata progettata con **comportamento strutturale non dissipativo.**

7.4. Tipologia strutturale

La struttura monopiano su più colonne, presenta degli schemi a telaio in direzione trasversale, mentre in senso longitudinale il funzionamento è quello di struttura a pendolo affidando la resistenza alle colonne incastrate a terra. Per tale motivo non si è potuto, cautelativamente, classificare tale struttura come una struttura a telaio.

La struttura è stata classificata, in accordo al 7.5.2.1 delle NTC'18, come:

d) **Struttura a mensola o a pendolo inverso**: in esse almeno il 50% della massa è nel terzo superiore dell'altezza della costruzione oppure la dissipazione di energia è localizzata principalmente alla base.

Tale scelta viene assunta in entrambe le direzioni del sisma in modo cautelativo.

7.5. Fattore di comportamento

Il valore del fattore di comportamento di una struttura a comportamento non dissipativo dipende dalla tipologia strutturale e viene definito al capitolo 7.3.1 della norma. La stessa norma fissa il valore limite superiore del fattore di comportamento:

$$q_{\lim} = q_0 \cdot K_R$$

Il valore del q_0 si ricava dalla Tab. 7.3.II

Tab. 7.3.II – *Valori massimi del valore di base q_0 del fattore di comportamento allo SLV per diverse tecniche costruttive ed in funzione della tipologia strutturale e della classe di duttilità CD*

	q_0	
Tipologia strutturale	CD"A"	CD"B"
Costruzioni di calcestruzzo (§ 7.4.3.2)		
Strutture a telaio, a pareti accoppiate, miste (v. § 7.4.3.1)	4,5 α_u/α_1	3,0 α_u/α_1
Strutture a pareti non accoppiate (v. § 7.4.3.1)	4,0 α_u/α_1	3,0
Strutture deformabili torsionalmente (v. § 7.4.3.1)	3,0	2,0
Strutture a pendolo inverso (v. § 7.4.3.1)	2,0	1,5
Strutture a pendolo inverso intelaiate monopiano (v. § 7.4.3.1)	3,5	2,5
Costruzioni con struttura prefabbricata (§ 7.4.5.1)		
Strutture a pannelli	4,0 α_u/α_1	3,0
Strutture monolitiche a cella	3,0	2,0
Strutture con pilastri incastrati e orizzontamenti incernierati	3,5	2,5
Costruzioni d'acciaio (§ 7.5.2.2) e composte di acciaio-calcestruzzo (§ 7.6.2.2)		
Strutture intelaiate Strutture con controventi eccentrici	5,0 α_u/α_1	4,0
Strutture con controventi concentrici a diagonale tesa attiva Strutture con controventi concentrici a V	4,0 2,5	4,0 2,0
Strutture a mensola o a pendolo inverso	2,0 α_u/α_1	2,0
Strutture intelaiate con controventi concentrici	4,0 α_u/α_1	4,0
Strutture intelaiate con tamponature in murature	2,0	2,0
Costruzioni di legno (§ 7.7.3)		
Pannelli di parete a telaio leggero chiodati con diaframmi incollati, collegati mediante chiodi, viti e bulloni Strutture reticolari iperstatiche con giunti chiodati	3,0	2,0
Portali iperstatici con mezzi di unione a gambo cilindrico	4,0	2,5
Pannelli di parete a telaio leggero chiodati con diaframmi chiodati, collegati mediante chiodi, viti e bulloni.	5,0	3,0
Pannelli di tavole incollate a strati incrociati, collegati mediante chiodi, viti, bulloni Strutture reticolari con collegamenti a mezzo di chiodi, viti, bulloni o spinotti		2,5

Il valore di $K_R = 1$ si assume per le strutture regolari in elevazione.

Utilizzando i parametri sopra definiti si ricava il valore limite:

$$q_{lim} = 2$$

Per le strutture a comportamento strutturale non dissipativo si adotta un fattore di comportamento q_{ND} ridotto rispetto al valore minimo relativo alla CD "B" secondo la seguente espressione:

$$1 \leq \frac{2}{3} q_{CD"B"} \leq 1{,}5$$

In accordo alla Tab. 7.3.I sotto riportata, si determinano i fattori di comportamento per i vari Stati Limite considerati, utili per la determinazione dei relativi Spettri di progetto.

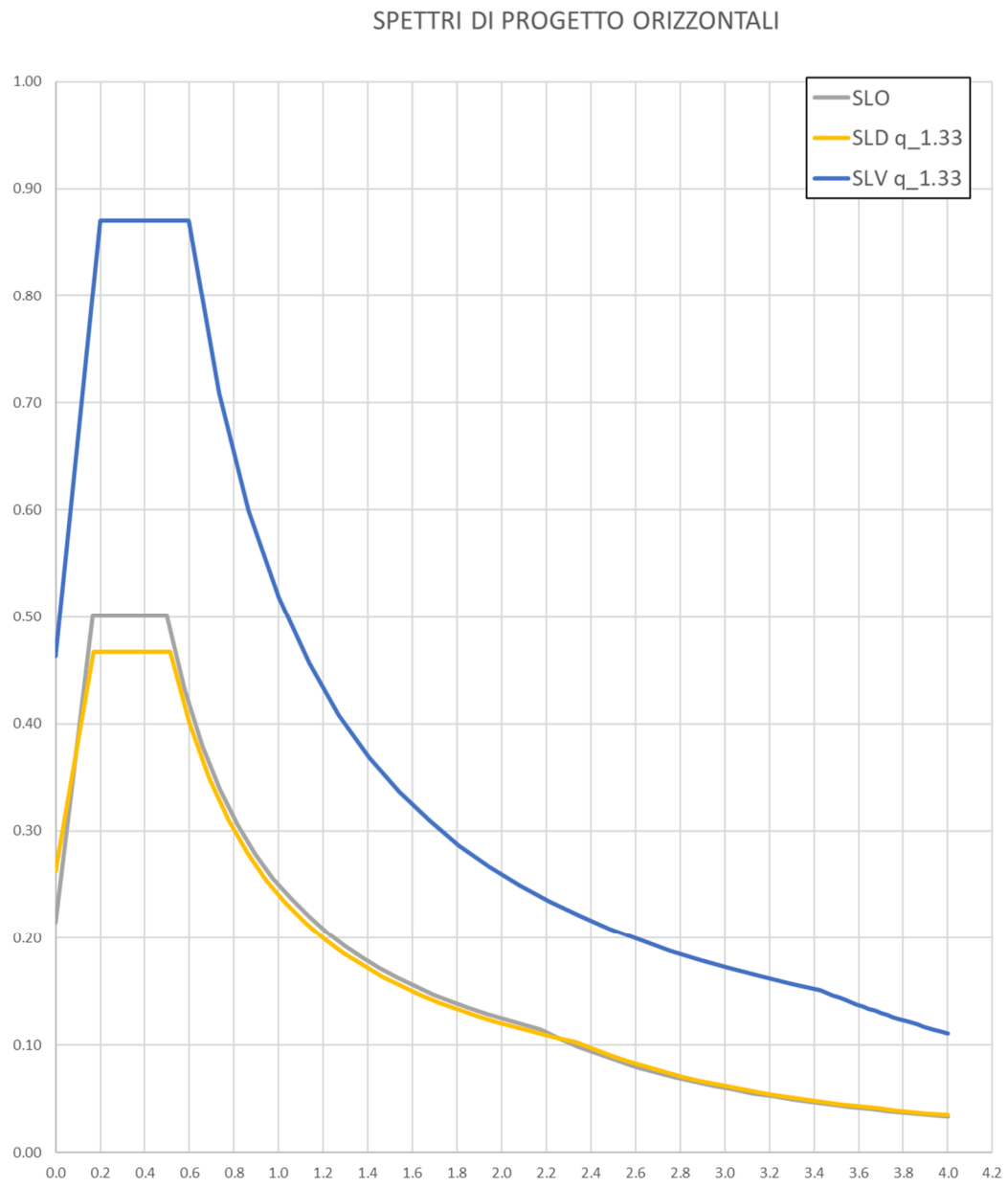
Tab. 7.3.I – *Limiti su q e modalità di modellazione dell'azione sismica*

STATI LIMITE		Lineare (Dinamica e Statica)		Non Lineare	
		Dissipativo	Non Dissipativo	Dinamica	Statica
SLE	SLO	q = 1.0 § 3.2.3.4	q = 1.0 § 3.2.3.4	§ 7.3.4.1	§ 7.3.4.2
	SLD	q ≤ 1,5 § 3.2.3.5	q ≤ 1,5 § 3.2.3.5		
SLU	SLV	q ≥ 1,5 § 3.2.3.5	q ≤ 1,5 § 3.2.3.5		
	SLC	---	---		

STATI LIMITE		FATTORE DI COMPORTAMENTO
SLE	SLO	1
	SLD	1.33
SLU	SLV	1.33
	SLC	-

7.6. Spettri di progetto orizzontali

Si riporta di seguito il grafico degli spettri di progetto ricavati applicando i fattori di comportamento come precedentemente descritti.



8. DESCRIZIONE MODELLO E IPOTESI DI CALCOLO

8.1. Software di calcolo

Il software di calcolo utilizzato per l'analisi della struttura è **SismiCAD 12.24** prodotto dalla Concrete s.r.l. con licenza intestata a INCIDE Engineering s.r.l.

Si riporta di seguito un estratto dell'introduzione contenuta nel manuale del software.

Sismicad è un programma per il calcolo strutturale con modellazione agli elementi finiti (FEM), dotato di un proprio solutore tridimensionale. Sismicad si propone principalmente come strumento per il progetto di edifici, in zona sismica e non, con modellazione tridimensionale agli elementi finiti. Sismicad consente la progettazione di edifici in c.a., muratura, acciaio e legno schematizzati attraverso un modello unico di struttura spaziale composta da elementi monodimensionali e bidimensionali con fondazioni poggianti su suolo elastico alla Winkler od elastoplastico, oppure su palificate.

Per progettare una struttura Sismicad prevede sostanzialmente il seguente iter:

• definizione della struttura, anche usando disegni architettonici;

• modellazione automatica agli elementi finiti dell'intera struttura;

• progettazione automatica e/o interattiva di ciascun elemento strutturale;

• produzione automatica di relazioni, disegni esecutivi, piante di carpenteria, prospetti in acciaio, computi.

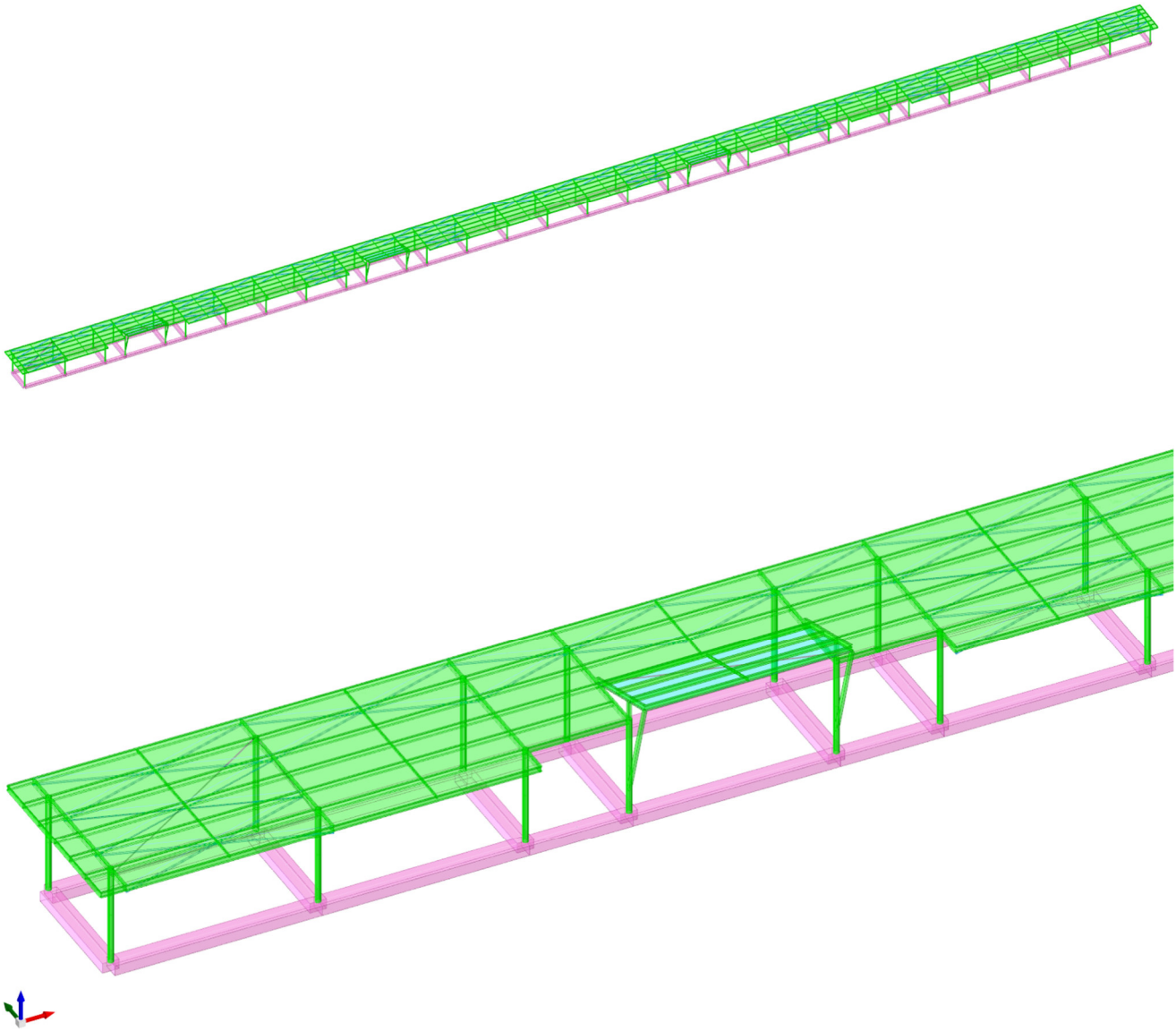
Le fasi sopra elencate rispecchiano il normale iter progettuale e, in aggiunta, sono rese più flessibili dalla possibilità di attuare modifiche alla struttura senza perdere l'eventuale lavoro di progettazione degli elementi strutturali e il lavoro di creazione delle relazioni. Come accennato sopra con Sismicad viene fornito un evoluto solutore tridimensionale agli elementi finiti di tipo SAP; per maggiori dettagli si rimanda ai relativi manuali (introduttivo e completo). Il solutore interno consente tra l'altro l'analisi di fenomeni di non linearità geometrica (metodo P-delta) e di aste non reagenti alla trazione o alla compressione, di fondazioni sia superficiali che profonde in suolo elastoplastico, elementi bidimensionali parzialmente o non reagenti alla trazione. Il solutore gestisce inoltre fenomeni di non linearità meccanica attraverso una modellazione ad inelasticità diffusa impiegata nelle analisi inelastiche.

8.2. Modello di calcolo

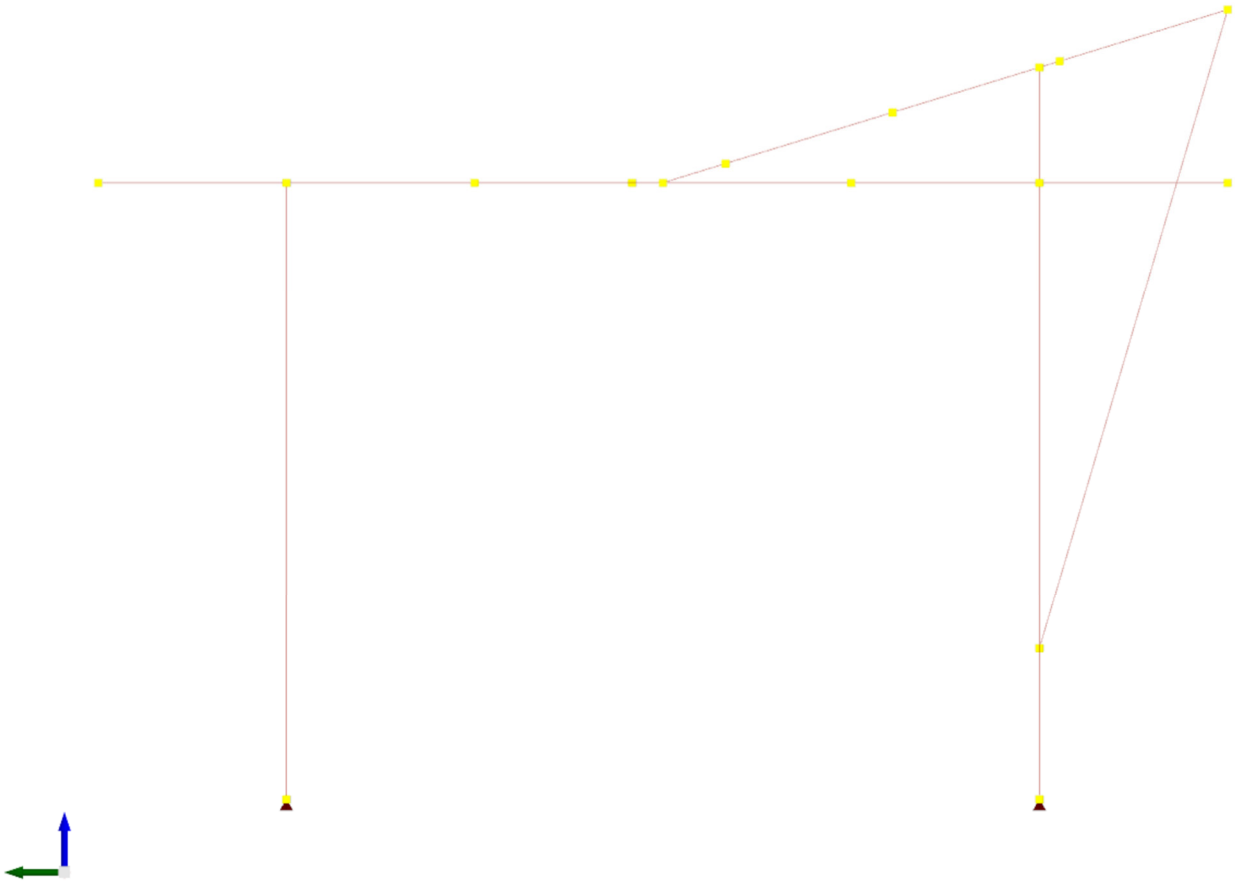
Il modello di calcolo delle elevazioni è stato creato utilizzando prevalentemente elementi monodimensionali tipo “beam” con interazione reciproca in corrispondenza dei nodi di estremità. Per rappresentare gli schemi statici semplificati si è fatto uso di svincoli alle estremità qualora necessari e significativi per riportare nel modello un comportamento più simile alla situazione reale. Per la determinazione delle sollecitazioni e la verifica delle strutture in elevazione si è impostato il modello con incastri alla base delle colonne.

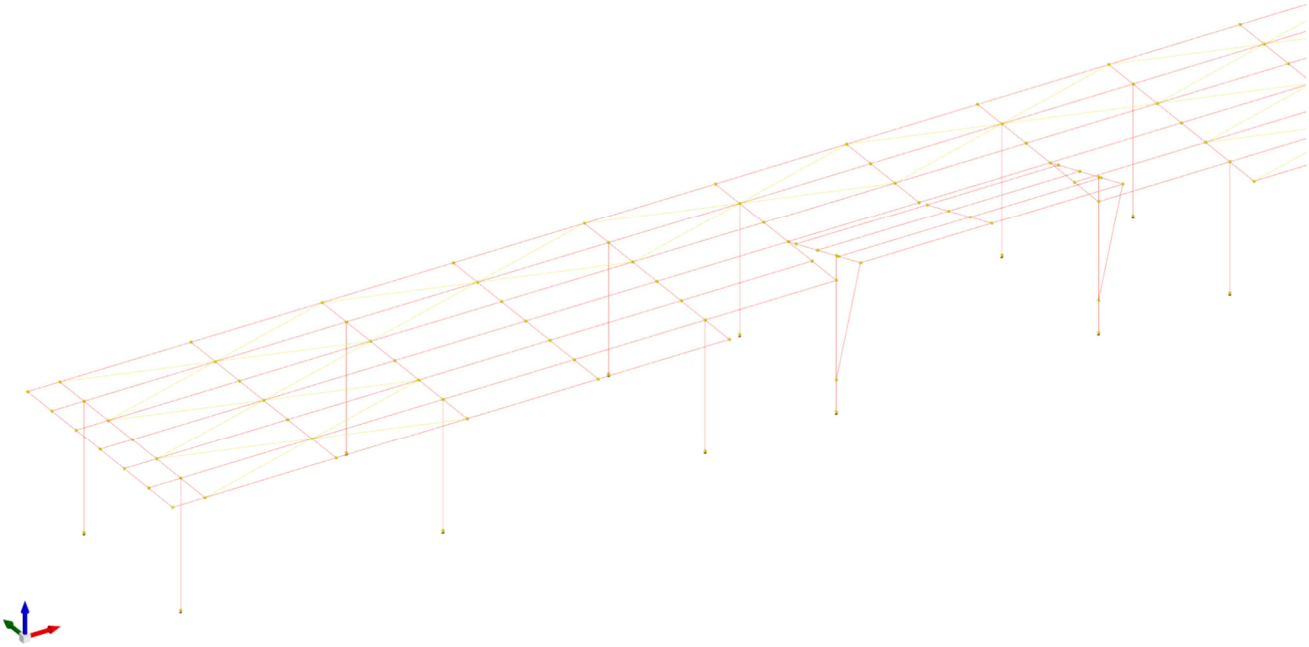
Per la verifica delle fondazioni sono state introdotte le travi di fondazioni modellate come elementi beam su suolo elastoplastico con molle alla Winkler.

Si riportano di seguito alcune immagini del modello unifilare di calcolo utilizzato per le valutazioni presenti nei capitoli successivi. (il modello riporta l’intera struttura nel suo sviluppo di 290 m: nei capitoli successivi si farà riferimento solo ad una porzione esemplificativa del risultati)



Modello FEM – vista 3D





Modello FEM – viste modello unifilare

8.3. Ipotesi semplificative

La falda principale della pensilina viene modellata come falda piana senza inclinazione per motivi di modellazione ad elementi finiti. Tale assunzione data la bassa inclinazione dell'elemento si considera essere una approssimazione accettabile.

8.4. Schema statico

Lo schema statico adottato è di portali rigidi nel loro piano, collegati tra loro mediante travi con svincolo alle estremità. Le travi di collegamento con luce molto elevata, vengono stabilizzate in mezzeria da elementi di collegamento e diagonali di impalcato, in modo da ridurre l'instabilità fuori dal piano.

8.5. Rigidezza di impalcato

L'impalcato risulta composto da un pannello leggero di copertura, dagli arcarecci e dalle travi principali. Tale impalcato non rispetta le condizioni minime previste dalla normativa per essere considerato un impalcato infinitamente rigido, si è quindi modellato il solo carico superficiale senza rigidezza, ma con il solo scopo di distribuire i carichi in base all'area di influenza sugli elementi portanti.

8.6. Modi di vibrare

Nel presente paragrafo si analizzano i modi di vibrare della struttura che fornisce una valutazione globale sul comportamento del sistema soggetto a sisma.

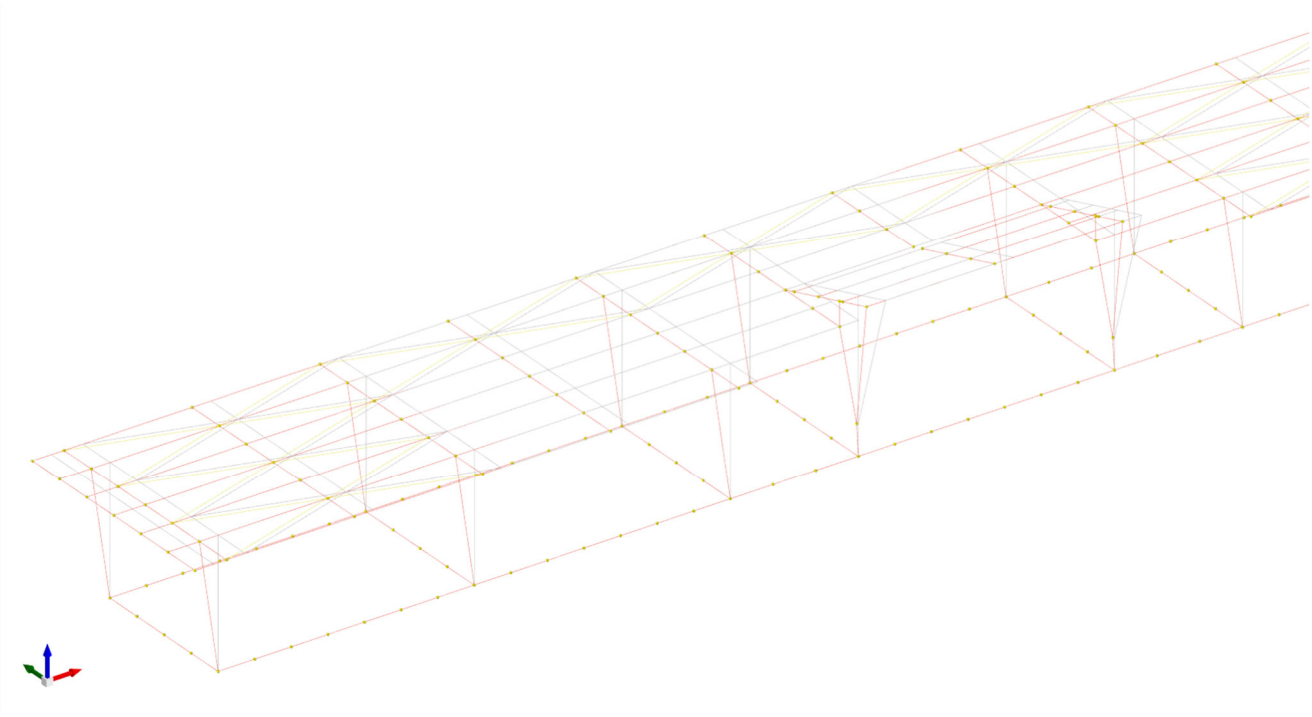
La seguente tabella elenca i primi 10 modi di vibrare della struttura ordinati dal periodo più alto al più basso, riportando allo stesso tempo la percentuale di massa eccitata nelle due direzioni principali dell'edificio.

Modo	Periodo	Massa X	Massa Y
1	0.6059	99.47%	0.00%
2	0.3844	0.00%	19.18%
3	0.3815	0.00%	78.43%
4	0.3712	0.00%	1.05%
5	0.3329	0.03%	0.80%
6	0.2463	0.04%	0.10%
7	0.2016	0.00%	0.00%
8	0.1455	0.00%	0.00%
9	0.1256	0.00%	0.00%
10	0.1021	0.00%	0.00%
Totale		**99.55%**	**99.56%**

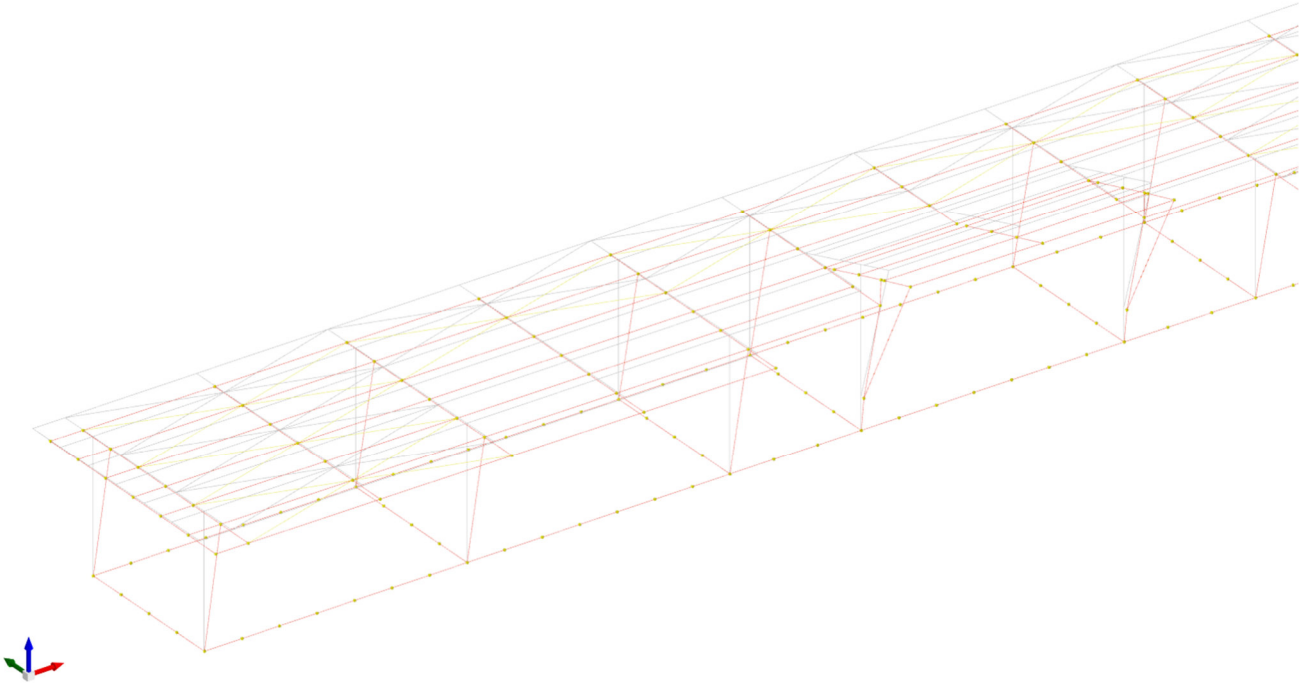
La semplicità della struttura si ritrova anche nell'analisi dei modi di vibrare propri, nello specifico i primi due modi di vibrare eccitano la totalità della masse in entrambe le direzioni. Si evidenzia una minor rigidezza in direzione longitudinale (dir. X) con un periodo di vibrare intorno ai 0,47 s, mentre in direzione trasversale (dir. Y) la maggior rigidezza dei portali porta ad un periodo di 0,32 s.

I due modi principali sono inoltre di tipo traslazionale e disaccoppiati.

Si riportano ora le deformate dei 2 principali modi di vibrare della struttura.



1° Modo di vibrare (T=0,60 s) - $M_X = 99.5\%$

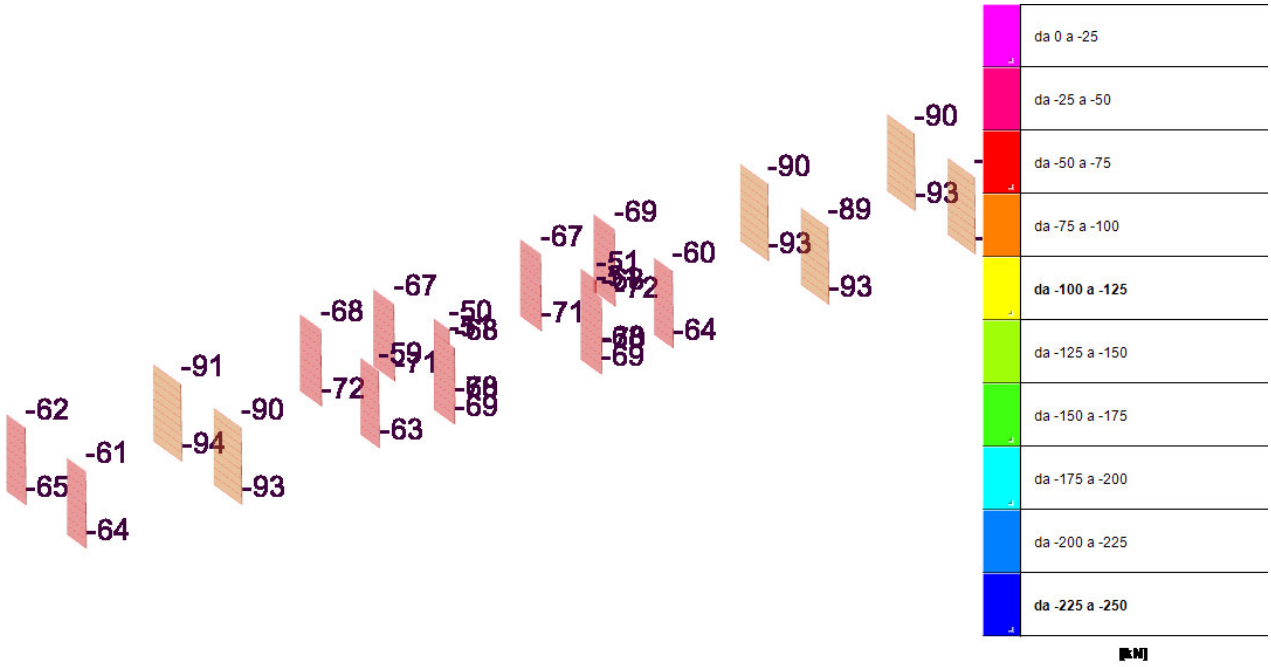


2° Modo di vibrare (T=0,38 s) - $M_Y = 78.4\%$

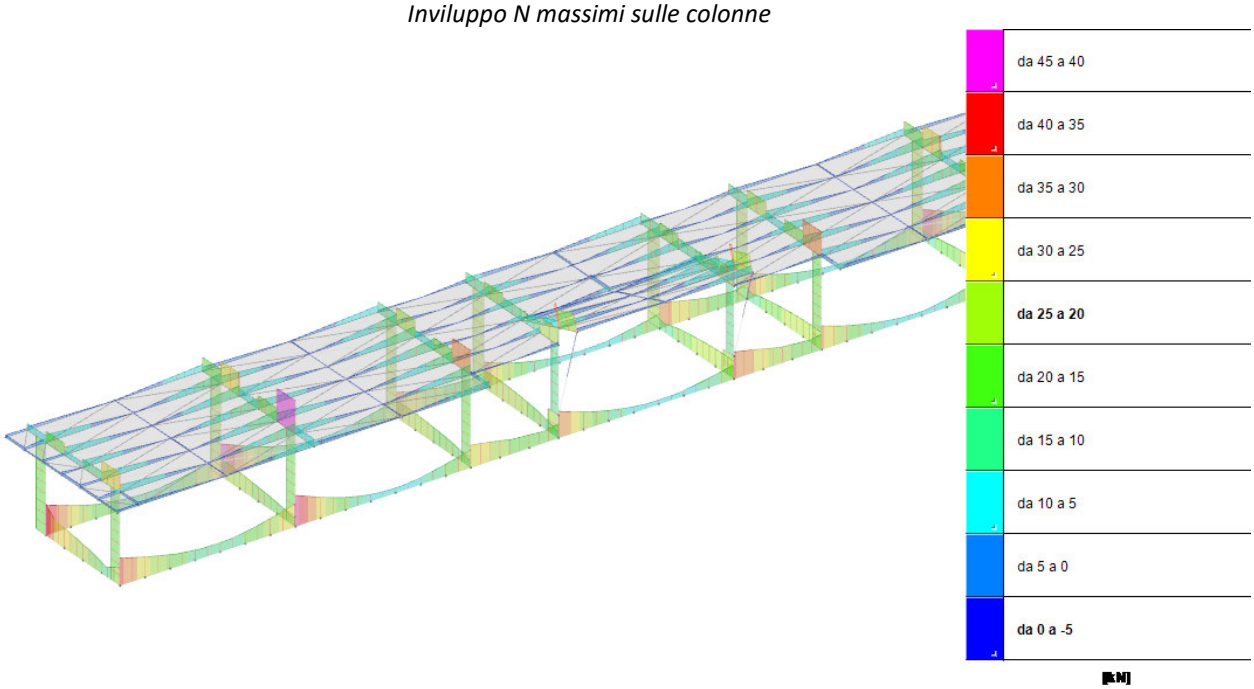
Modi di vibrare di questo tipo evidenziano un buon comportamento globale della struttura che nel suo complesso manifesta un comportamento di insieme senza picchi di deformazione per modi di vibrare con periodi alti.

9. RISULTATI DI CALCOLO

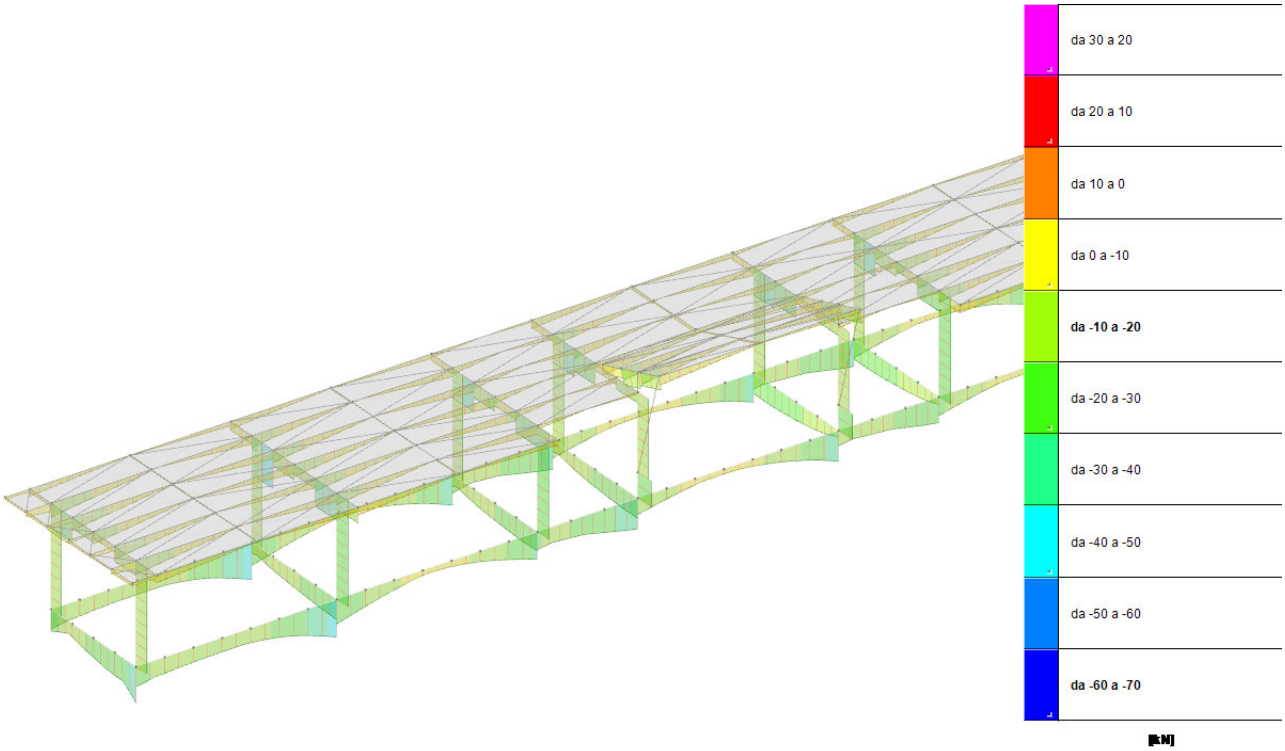
9.1. Sollecitazioni



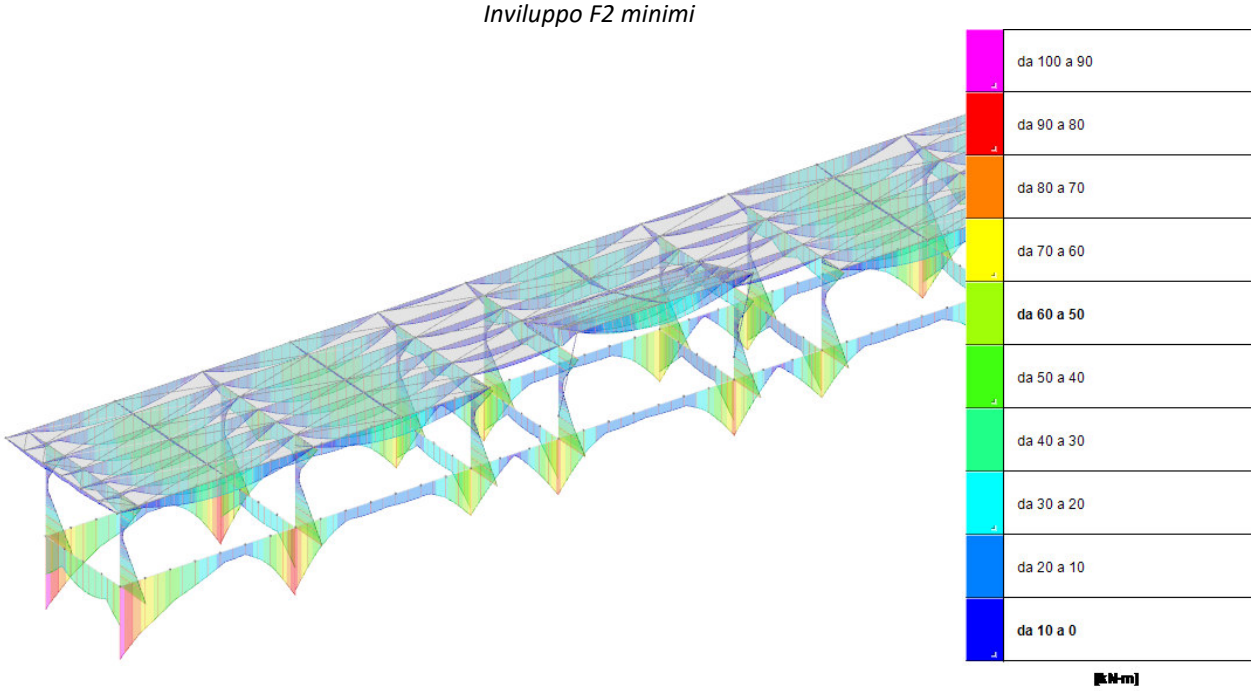
Inviluppo N massimi sulle colonne



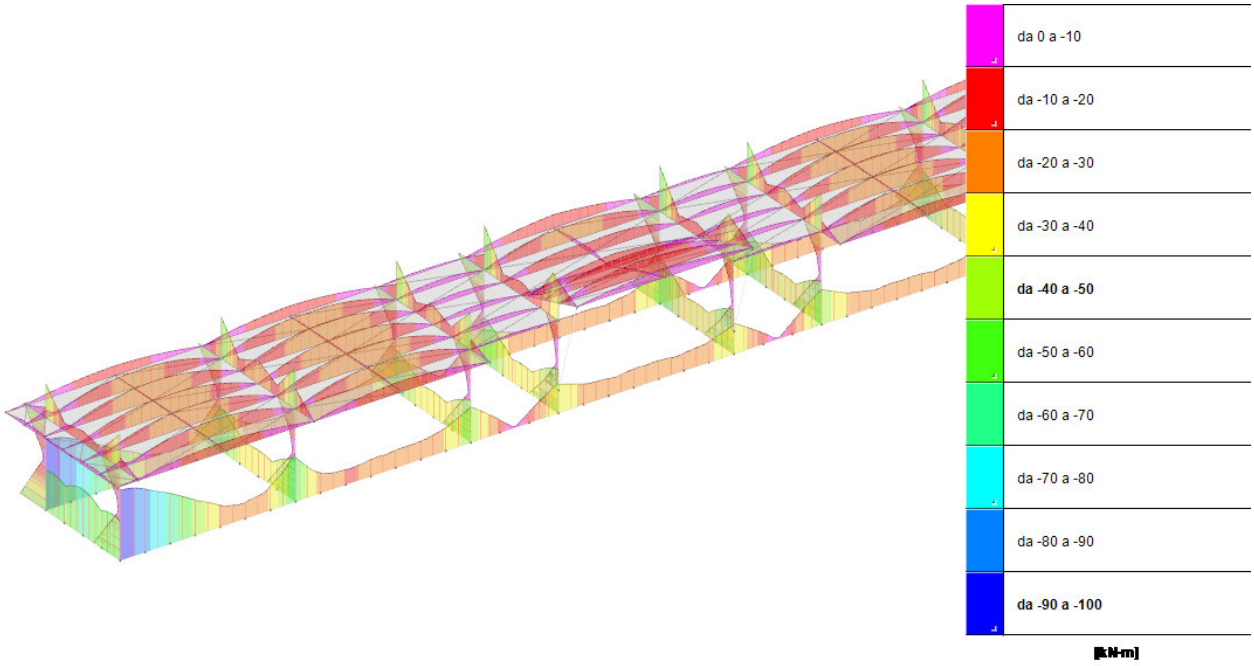
Inviluppo F2 massimi



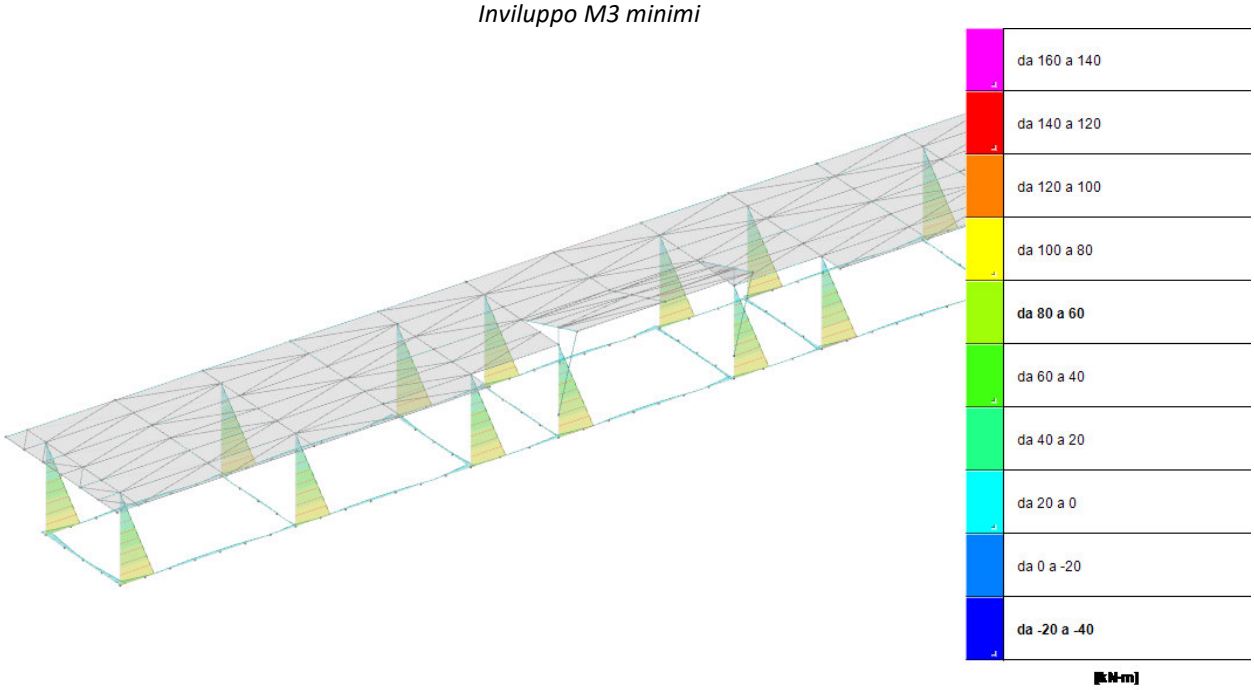
Inviluppo F2 minimi



Inviluppo M3 massimi

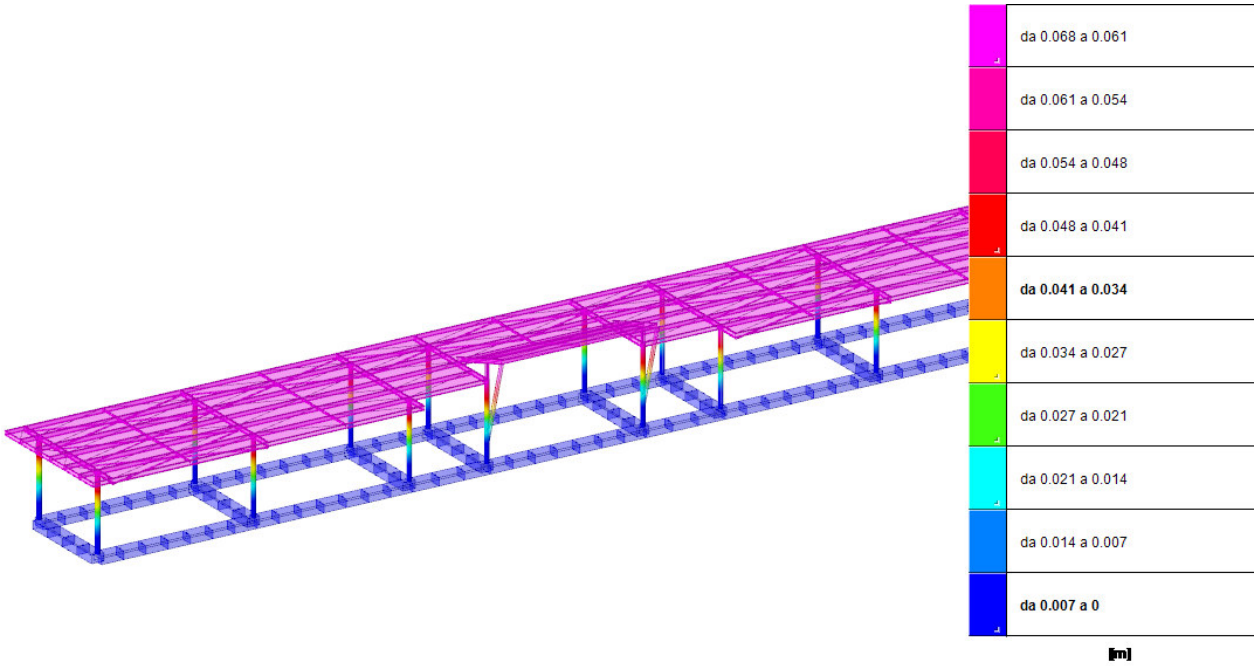


Inviluppo M3 minimi

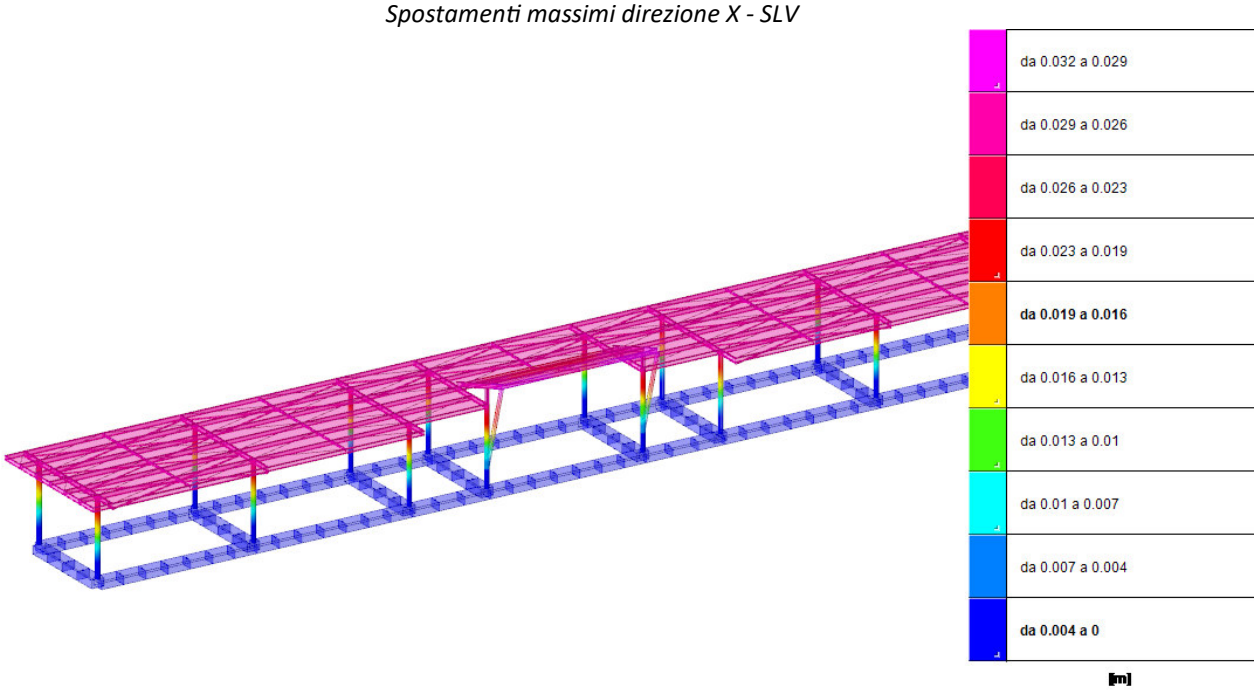


Inviluppo M2 massimi

9.2. Spostamenti



Spostamenti massimi direzione X - SLV



Spostamenti massimi direzione Y - SLV

10. GIUDIZIO MOTIVATO DI ACCETTAZIONE DEI RISULTATI

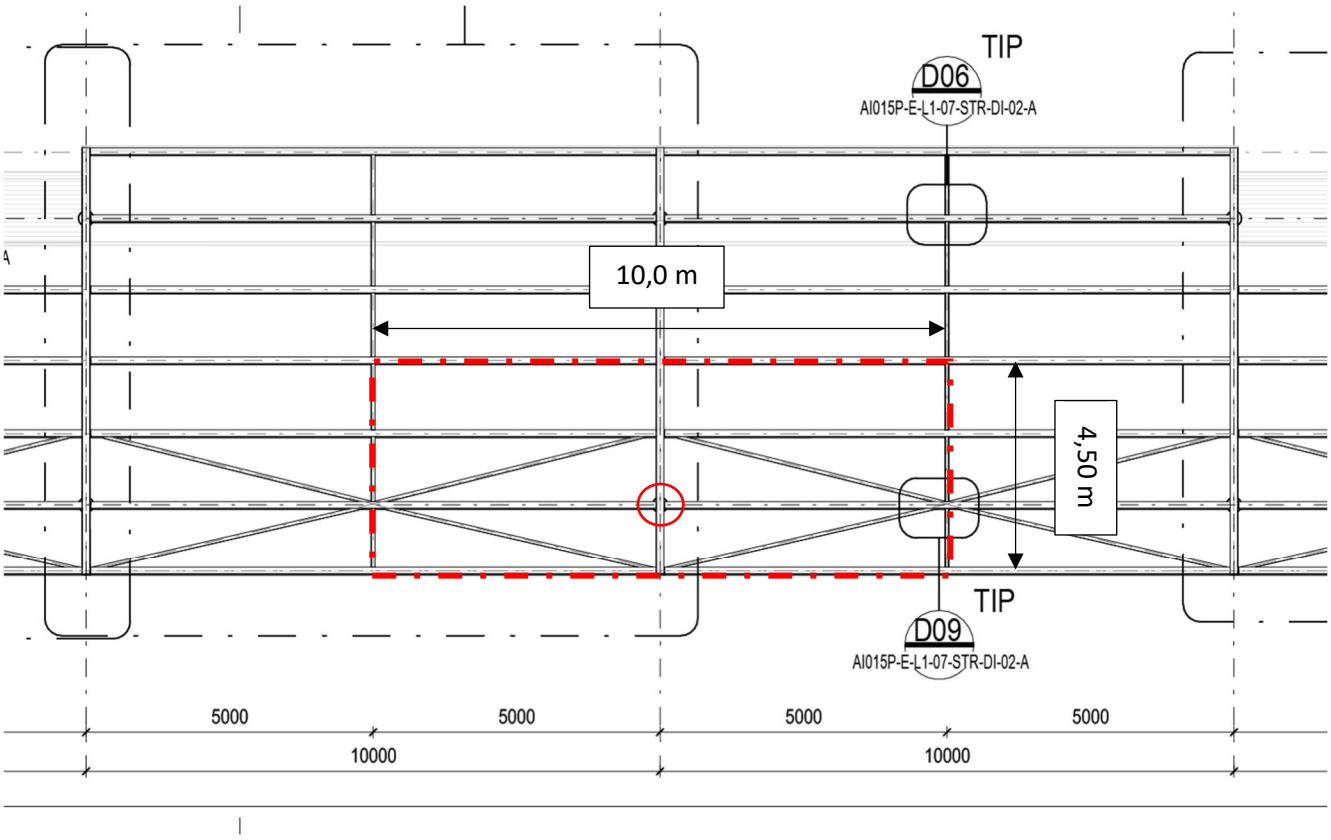
Nel presente capitolo si eseguono dei calcoli manuali da confrontare con i risultati ottenuti dal programma di calcolo per verificare la correttezza delle elaborazioni eseguite.

Per eseguire tali confronti si prende in considerazione:

- Lo sforzo normale agente su una colonna in combinazione SLU;
- Il taglio totale alla base della struttura in combinazione sismica SLV.

10.1. Sforzo normale su colonna

Si fa riferimento ad una colonna sul lato frontale in posizione centrale.



L'area di influenza dei carichi su tale colonna è pari a:

$$A_{inf} = 10 * 4{,}50 = 45{,}0\ m^2$$

Il carico di superfice, in combinazione SLU con solo carico variabile da neve, che insiste sull'area di influenza individuata è pari a:

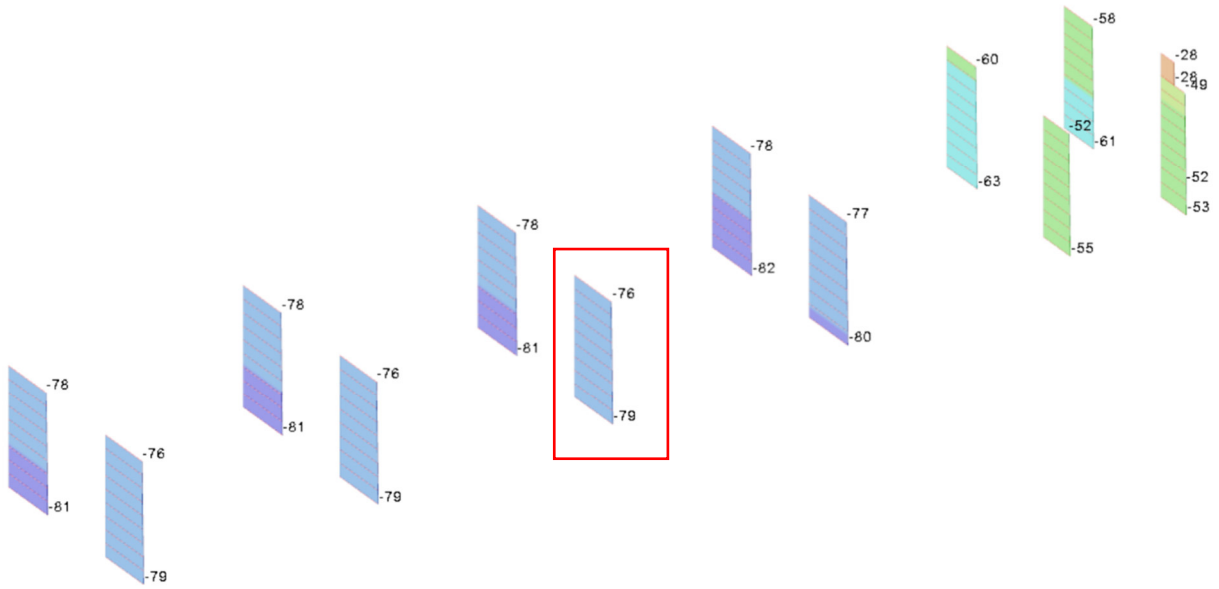
$$q_{SLU} = 1{,}3 * 0{,}15 + 1{,}5 * 0{,}2 + 1{,}5 * 0{,}55 = 1{,}32\ kN/m^2$$

Il peso degli elementi modellati che scaricano sulla colonna è di seguito riportato per tipo di elemento:

	$Peso\ totale$	$Coefficiente\ \gamma_{G1}$	$Peso\ per\ analisi$
$Travi\ principali\ IPE\ 270$	$3{,}25\ kN$	$1{,}3$	$4{,}23\ kN$
$Arcarecci\ IPE240$	$10{,}76\ kN$	$1{,}3$	$14{,}00\ kN$
$Colonna\ CHS\ 273x8$	$2{,}57\ kN$	$1{,}3$	$3{,}34\ kN$
			$21{,}57\ kN$

Lo sforzo normale totale derivante dai calcoli sopra riportati viene di seguito confrontato con lo sforzo normale derivante dall'analisi numerica eseguita con il programma di calcolo:

$Calcolo\ manuale$	$N_{Ed} = 80{,}98\ kN$	$+2{,}5\%\ \%$
$Calcolo\ numerico$	$N_{Ed} = 79{,}00\ kN$	



La sollecitazione derivata dal calcolo manuale differisce dal calcolo automatico per un valore inferiore al 5%.

10.2. Taglio totale alla base

Per verificare che la forzante sismica determinata dal programma di calcolo sia corretta si effettuerà un controllo sul tagliante totale alla base determinato mediante un calcolo manuale.

La seguente tabella riporta la massa sismica totale suddivisa per i vari elementi partecipanti:

$Pacchetto\ di\ copertura$	$0{,}35 * 280 * 9 = 882\ kN$
$Travi\ principali\ IPE270$	$114{,}17\ kN$
$Arcarecci\ IPE240$	$567{,}87\ kN$
$Rompitratta\ IPE120$	$22{,}32\ kN$
$Controventi\ L60x6$	$49{,}84\ kN$
$Metà\ colonne\ CHS\ 273x8$	$\frac{169{,}77}{2} = 84{,}89\ kN$
$Strutture\ FLAP$	$79{,}77\ kN$
$\boldsymbol{Massa\ sismica\ totale}$	$\boldsymbol{1800{,}86\ kN}$

Dall'analisi modale si evince che i periodi di riferimento per il calcolo dell'azione sismica differiscono tra le due direzioni principali, comportando una differente accelerazione di riferimento:

$$T_{1,X} = 0{,}60 \qquad {a_g}/{g} = 0{,}843$$

$$T_{1,Y} = 0{,}38 \qquad {a_g}/{g} = 0{,}867$$

Il tagliante sismico alla base derivante da queste valutazioni è quindi pari a:

$$F_{sismica,X} = 1800{,}86 * 0{,}843 = 1518{,}13\ kN$$

$$F_{sismica,Y} = 1800{,}86 * 0{,}867 = 1561{,}34\ kN$$

Fondazione	SLV 1	-1541.88	-471.76	-1892.01	-1541.88	-471.76	-1892.01
Fondazione	SLV 2	-1541.88	-471.76	-1892.01	-1541.88	-471.76	-1892.01
Fondazione	SLV 3	-1541.88	471.76	-1892.01	-1541.88	471.76	-1892.01
Fondazione	SLV 4	-1541.88	471.76	-1892.01	-1541.88	471.76	-1892.01
Fondazione	SLV 5	-462.56	-1572.55	-1892.01	-462.56	-1572.55	-1892.01
Fondazione	SLV 6	-462.56	-1572.55	-1892.01	-462.56	-1572.55	-1892.01
Fondazione	SLV 7	-462.56	1572.55	-1892.01	-462.56	1572.55	-1892.01
Fondazione	SLV 8	-462.56	1572.55	-1892.01	-462.56	1572.55	-1892.01
Fondazione	SLV 9	462.56	-1572.55	-1892.01	462.56	-1572.55	-1892.01
Fondazione	SLV 10	462.56	-1572.55	-1892.01	462.56	-1572.55	-1892.01
Fondazione	SLV 11	462.56	1572.55	-1892.01	462.56	1572.55	-1892.01
Fondazione	SLV 12	462.56	1572.55	-1892.01	462.56	1572.55	-1892.01
Fondazione	SLV 13	1541.88	-471.76	-1892.01	1541.88	-471.76	-1892.01
Fondazione	SLV 14	1541.88	-471.76	-1892.01	1541.88	-471.76	-1892.01
Fondazione	SLV 15	1541.88	471.76	-1892.01	1541.88	471.76	-1892.01
Fondazione	SLV 16	1541.88	471.76	-1892.01	1541.88	471.76	-1892.01

La seguente tabella riporta il confronto tra i taglianti alla base determinati dal software e i taglianti determinati da semplice calcolo manuale:

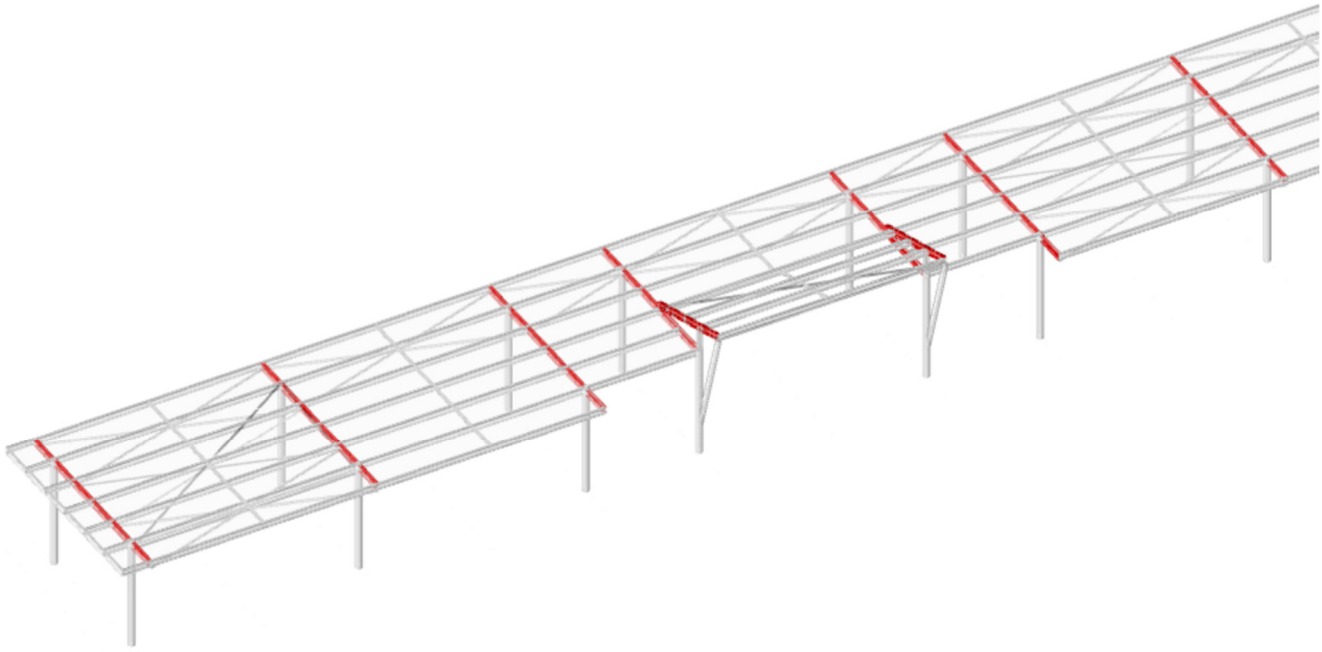
$Calcolo\ manuale$	$F_X = 1518{,}13\ kN$	$F_Y = 1561{,}34\ kN$
$Calcolo\ numerico$	$F_X = 1541{,}88\ kN$	$F_Y = 1572{,}55\ kN$
$Differenza$	$-1{,}54\%$	$-0{,}71\%$

Le differenze tra i valori sono inferiori al 2% in entrambe le direzione principali.

11. VERIFICA ELEMENTI STRUTTURALI

11.1. Travi principali

Le travi principali a sezione IPE270 coprono la luce di 6 metri tra le colonne ed escono a sbalzo per 1,5 metri ambo i lati in modo da raggiungere la larghezza complessiva della copertura pari a 9 metri.



Si riportano i tabulati di verifica per la trave secondaria tipologica maggiormente sollecitata.

Caratteristiche del materiale
Acciaio: S275,
fyk = 275000

Caratteristiche geometriche
Lunghezza: 9
Nodo iniziale: 836 Nodo finale: 496
Cerniera iniziale: No Cerniera finale: No
Sovraresistenza: 0% Sisma Z: No

Caratteristiche della sezione

Sezione	Rotazione	Area	Jx	Jy	ix	iy	Wx	Wy	Wplx	Wply
IPE270	0	0.004599	0.0000579625	0.0000041991	0.1123	0.0302	0.00042935	0.00006221	0.00048454	0.00009699

Verifiche di resistenza

Verifiche a forza assiale §4.2.4.1.2.1 - §4.2.4.1.2.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	Nc,Rd	Nt,Rd	Riduzione da taglio	ρx	ρy	Verifica
5.6	SLU 5	0.003		3.233		1204.509	1	0	0	Si

Verifiche a forza assiale SLD §4.2.4.1.2.1 - §4.2.4.1.2.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	Nc,Rd	Nt,Rd	Riduzione da taglio	ρx	ρy	Verifica
1.5	SLD 11	0.001	1	-0.977	1204.509		1	0	0	Si

Verifica a taglio Y §4.2.4.1.2.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vc,Rd	Av	Interazione taglio-torsione	Riduzione torsione	Verifica
1.5	SLU 134	0.133	44.505	335.439	0.002218	Considerata	1	Si

Verifica a taglio Y SLD §4.2.4.1.2.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vc,Rd	Av	Interazione taglio-torsione	Riduzione torsione	Verifica
1.5	SLD 7	0.064	21.419	335.439	0.002218	Considerata	1	Si

Verifica a flessione semplice X §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	Mx,Ed	Mx,Rd	Rid. Mx,Rd da VEd	ρx	ρy	Verifica
7.5	SLU 27	0.255	1	32.36908	126.90279	1	0	0	Si

Verifica a flessione semplice X SLD §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	Mx,Ed	Mx,Rd	Rid. Mx,Rd da VEd	ρx	ρy	Verifica
1.5	SLD 4	0.171	1	21.7172	126.90279	1	0	0	Si

Verifica a flessione semplice Y §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	My,Ed	My,Rd	Rid. My,Rd da VEd	ρx	ρy	Verifica
9	SLU 133	0.001	1	-0.01408	25.40212	1	0	0	Si

Verifica a flessione deviata §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	Mx,Ed	Mx,Rd	My,Ed	My,Rd	Rid. Mx,Rd da VEd	Rid. My,Rd da VEd	α	β	ρx	ρy	Verifica
1.5	SLU 136	0.37	1	46.8356	126.9028	0.0129	25.4021	1	1			0	0	Si

Verifica a presso/tenso flessione retta X §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	Mx,Ed	Mx,Rd	Rid. Mx,Rd da VEd	Rid. Mx,Rd da NEd	ρx	ρy	Verifica
1.5	SLV 8	0.43	1	-1.522	1204.509	1	54.4056	126.9028	1		0	0	Si

Verifica a presso/tenso flessione retta X SLD §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	Mx,Ed	Mx,Rd	Rid. Mx,Rd da VEd	Rid. Mx,Rd da NEd	ρx	ρy	Verifica
1.5	SLD 8	0.286	1	-0.921	1204.509	1	36.2217	126.9028	1		0	0	Si

Verifica a presso/tenso flessione retta Y §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	My,Ed	My,Rd	Rid. My,Rd da VEd	Rid. My,Rd da NEd	ρx	ρy	Verifica
6.3	SLU 3	0.002	1	0.806	1204.509	1	-0.032	25.4021	1		0	0	Si

Verifica a presso/tenso flessione deviata §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	Mx,Ed	Mx,Rd	My,Ed	My,Rd	Rid. Mx,Rd da VEd	Rid. Mx,Rd da NEd	Rid. My,Rd da VEd	Rid. My,Rd da NEd	α	β	ρx	ρy	Verifica
7.5	SLU 134	0.345	1	-0.945	1204.509	1	43.5971	126.9028	-0.0063	25.4021	1		1				0	0	Si

Verifiche ad instabilità

Caratteristiche iniziali

Membratura principale per controllo snellezza; Calcolo di snellezze ed N critici condotti secondo gli assi principali;
Curva X: a; Curva Y: b; Svergolamento: Carico all'estradosso; Curva svergolamento: b;

Dati per instabilità attorno a x

Controllo della snellezza secondo §4.2.4.1.3.1 NTC18

Numero rit.	Presente	Ascissa	Campata	βx/m	Vincolo a entrambi estremi	λx/m	λVer
1	Si	0					
			1-2	1	Si	80.2	Si, (<200)
2	Si	9					

Dati per instabilità attorno a y

Controllo della snellezza secondo §4.2.4.1.3.1 NTC18

Numero rit.	Presente	Ascissa	Campata	βy/n	k,LT	kw,LT	Vincolo a entrambi estremi	λy/n	λVer
1	Si	0							
			1-2	1	1	1	Si	49.6	Si, (<200)
2	Si	1.5							
			2-3	1	1	1	Si	49.6	Si, (<200)
3	Si	3							
			3-4	1	1	1	Si	49.6	Si, (<200)
4	Si	4.5							
			4-5	1	1	1	Si	49.6	Si, (<200)
5	Si	6							
			5-6	1	1	1	Si	49.6	Si, (<200)
6	Si	7.5							
			6-7	1	1	1	Si	49.6	Si, (<200)
7	Si	9							

Verifica a svergolamento §4.2.4.1.3.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	Obblig.	Mx,Ed	Mb,Rd,x	χ,LT	λ adim. LT	L,LT	M,critico	Verifica
7.5	SLU 27	0.276	1	Si	32.36908	117.46314	0.926	0.581	1.5	394.76892	Si

Verifica a svergolamento SLD §4.2.4.1.3.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	Obblig.	Mx,Ed	Mb,Rd,x	χ,LT	λ adim. LT	L,LT	M,critico	Verifica
1.5	SLD 4	0.185	1	Si	21.7172	117.46314	0.926	0.581	1.5	394.76892	Si

Verifica a svergolamento con trazione §4.2.4.1.3.2 NTC18 § 5.5.3 ENV 1993-1-1:1992 + AC:1992 + A1:1994 + A2:1998

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	Obblig.	NEd	Mx,Ed	Mx,Eff,Ed	Mb,Rd,x	χ,LT	λ adim. LT	L,LT	M,critico	Verifica
4.4	SLU 136	0.307	1	Si	0.979	-38.58946	-38.52551	125.37548	0.988	0.431	1.5	717.64237	Si

Verifica a svergolamento con trazione SLD §4.2.4.1.3.2 NTC18 § 5.5.3 ENV 1993-1-1:1992 + AC:1992 + A1:1994 + A2:1998

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	Obblig.	NEd	Mx,Ed	Mx,Eff,Ed	Mb,Rd,x	χ,LT	λ adim. LT	L,LT	M,critico	Verifica
6	SLD 7	0.128	1	Si	0.58	-16.1874	-16.14949	126.07657	0.993	0.417	1.5	767.09198	Si

Verifica di stabilità per tenso-flessione deviata §§ 5.5.3-5.5.4 ENV 1993-1-1:1992 + AC:1992 + A1:1994 + A2:1998

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	Mx,Ed	Mx,Eff,Ed	My,Ed	χ,LT	kLT	ky	M,critico	Wx	Wy	Verifica
4.5	SLU 136	0.319	1	1.071	-39.96448	-39.8945	0.01998	0.988	1	1	720.5395	0.0004845	0.000097	Si

Verifica di stabilità per pressoflessione §C.4.2.4.1.3.3.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRk	Mx,Ed max	Mx,Rk	My,Ed max	My,Rk	χ,x	χ,y	kxx	kxy	kyx	kyy	χ,LT	Verifica
3	SLV 8	0.464	1	-0.548	1264.735	54.40561	133.24793	0.00195	26.67222	0.718	0.851	0.95	0.24	1	0.4	0.926	Si

Verifica di stabilità per pressoflessione SLD §C.4.2.4.1.3.3.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRk	Mx,Ed max	Mx,Rk	My,Ed max	My,Rk	χ,x	χ,y	kxx	kxy	kyx	kyy	χ,LT	Verifica
3	SLD 7	0.286	1	-0.921	1264.735	36.22173	133.24793	0.00168	26.67222	0.718	0.851	0.951	0.24	1	0.4	1	Si

Verifica di stabilità a taglio anima Y §4.2.4.1.2.4 [4.2.27] NTC18

η	hw	tw	hw/tw max	Verifica
1.2	0.25	0.007	55.46	Si

Verifica di stabilità a taglio anima Y SLD §4.2.4.1.2.4 [4.2.27] NTC18

η	hw	tw	hw/tw max	Verifica
1.2	0.25	0.007	55.46	Si

Verifiche a deformabilità

Mensola X: No; Mensola Y: No.
Attenzione: modello non lineare. Freccia variabile ricavata come differenza tra la freccia totale e la freccia permanente.

Frecce lungo X

Ascissa freccia	Combinazione	Freccia	Luce	L/f	L/f,min	Tipo	Verifica
4.6	SLE RA 1	0	9	10000	200	Totale	Si
7.45	SLE RA 32	0	9	10000	200	Totale	Si
5.95	SLE RA 31	0.00001	9	10000	200	Totale	Si
5.75	SLE RA 30	0	9	10000	200	Totale	Si
7.4	SLE RA 29	0	9	10000	200	Totale	Si
5.95	SLE RA 3	0.00001	9	10000	250	Variabile	Si
4.6	SLE RA 32	0	9	10000	250	Variabile	Si
5.95	SLE RA 31	0.00001	9	10000	250	Variabile	Si
7.2	SLE RA 30	0	9	10000	250	Variabile	Si
7.45	SLE RA 29	0	9	10000	250	Variabile	Si

Frecce lungo Y

Ascissa freccia	Combinazione	Freccia	Luce	L/f	L/f,min	Tipo	Verifica
4.5	SLE RA 32	-0.00756	9	1190.4	200	Totale	Si
4.5	SLE RA 33	-0.00722	9	1246.7	200	Totale	Si
4.5	SLE RA 34	-0.00683	9	1318.5	200	Totale	Si
4.5	SLE RA 23	-0.00666	9	1350.7	200	Totale	Si
4.5	SLE RA 26	-0.00652	9	1380.6	200	Totale	Si
4.5	SLE RA 8	0.00781	9	1152.9	250	Variabile	Si
4.5	SLE RA 7	0.0075	9	1200.7	250	Variabile	Si
4.45	SLE RA 6	0.00716	9	1257.8	250	Variabile	Si
4.5	SLE RA 20	0.00623	9	1443.7	250	Variabile	Si
4.5	SLE RA 19	0.00591	9	1522.3	250	Variabile	Si

Significato dei simboli utilizzati:

Le unità di misura elencate sono in [m, kN, deg] ove non espressamente specificato.

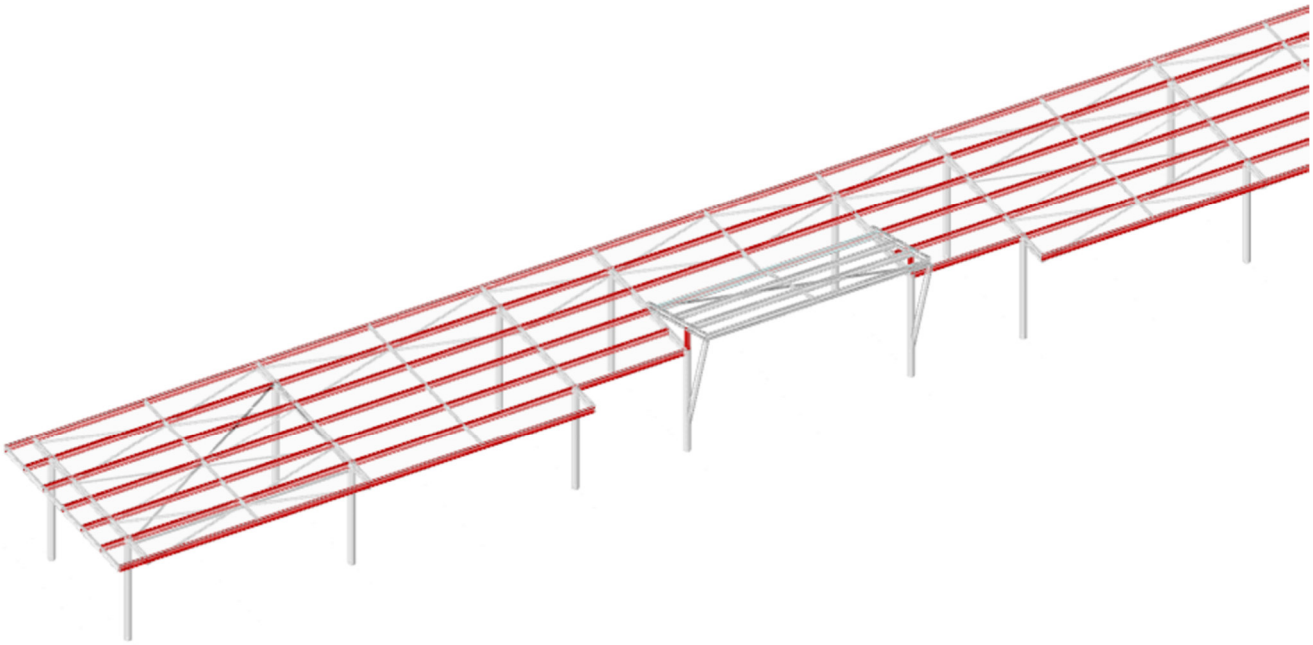
Sezione: *sezione in acciaio.*
Rotazione: *rotazione della sezione. [deg]*
Area: *area inerziale nel sistema geometrico centrato nel baricentro. [m²]*
Jx: *momento d'inerzia attorno all'asse orizzontale baricentrico di definizione della sezione. [m4]*
Jy: *momento d'inerzia attorno all'asse verticale baricentrico di definizione della sezione. [m4]*
ix: *raggio di inerzia relativo all'asse x. [m]*
iy: *raggio di inerzia relativo all'asse y. [m]*
Wx: *modulo di resistenza elastico minimo relativo all'asse x. [m³]*
Wy: *modulo di resistenza elastico minimo relativo all'asse y. [m³]*
Wplx: *modulo di resistenza plastico relativo all'asse x. [m³]*
Wply: *modulo di resistenza plastico relativo all'asse y. [m³]*
X: *distanza dal nodo iniziale. [m]*

Comb.: *combinazione di verifica.*
Sfruttamento: *rapporto di sfruttamento per la verifica in esame, inverso del coefficiente di sicurezza. Verificato se minore o uguale di 1.*
Classe: *classe della sezione.*
NEd: *sollecitazione assiale. [kN]*
Nc,Rd: *resistenza assiale a compressione ridotta per taglio. [kN]*
Nt,Rd: *resistenza assiale a trazione ridotta per taglio. [kN]*
Riduzione da taglio: *rapporto tra la resistenza assiale ridotta per taglio e la resistenza assiale.*
ρx: *coefficiente di riduzione della resistenza di snervamento per taglio in direzione x.*
ρy: *coefficiente di riduzione della resistenza di snervamento per taglio in direzione y.*
Verifica: *stato di verifica.*
VEd: *sollecitazione di taglio. [kN]*
Vc,Rd: *resistenza a taglio. [kN]*
Av: *area resistenza a taglio. [m²]*
Interazione taglio-torsione: *indica se è possibile ridurre il taglio resistente per presenza di torsione.*
Riduzione torsione: *coefficiente riduttivo della resistenza a taglio per presenza di torsione.*
Mx,Ed: *sollecitazione flettente attorno x-x. [kN·m]*
Mx,Rd: *resistenza a flessione attorno x-x ridotta per taglio. [kN·m]*
Rid. Mx,Rd da VEd: *rapporto tra la resistenza flettente ridotta per taglio e la resistenza flettente attorno x-x.*
My,Ed: *sollecitazione flettente attorno y-y. [kN·m]*
My,Rd: *resistenza a flessione attorno y-y ridotta per taglio. [kN·m]*
Rid. My,Rd da VEd: *rapporto tra la resistenza flettente ridotta per taglio e la resistenza flettente attorno y-y.*
α: *esponente α per flessione deviata.*
β: *esponente β per flessione deviata.*
NRd: *resistenza assiale ridotta per taglio. [kN]*
Rid. NRd da VEd: *rapporto tra la resistenza assiale ridotta per taglio e la resistenza assiale.*
Mx,Rd: *resistenza a flessione attorno x-x ridotta. [kN·m]*
Rid. Mx,Rd da NEd: *rapporto tra la resistenza flettente ridotta per sforzo normale e taglio e la resistenza flettente ridotta per taglio attorno x-x.*
My,Rd: *resistenza a flessione attorno y-y ridotta. [kN·m]*
Rid. My,Rd da NEd: *rapporto tra la resistenza flettente ridotta per sforzo normale e taglio e la resistenza flettente ridotta per taglio attorno y-y.*
Numero rit.: *numero del ritegno.*
Presente: *indica se il ritegno è presente o meno.*
Ascissa: *ascissa del ritegno rispetto al nodo iniziale del superelemento o ascissa iniziale e finale della campata. [m]*
Campata: *campata tra i ritegni.*
βx/m: *coefficiente di lunghezza efficace per rotazione attorno a x/m.*
Vincolo a entrambi estremi: *indica se il tratto è vincolato a entrambi gli estremi.*
λx/m: *snellezza attorno a x/m del tratto tra i due ritegni.*
λVer: *snellezza accettabile.*
βy/n: *coefficiente di lunghezza efficace per rotazione attorno a y/n.*
k,LT: *coefficiente di lunghezza efficace per rotazione nel calcolo del momento critico ENV1993-1-1 F 1.2(3).*
kw,LT: *coefficiente di lunghezza efficace per ingobbamento nel calcolo del momento critico ENV1993-1-1 F 1.2(4).*
λy/n: *snellezza attorno a y/n del tratto tra i due ritegni.*
Obblig.: *indica se la verifica è obbligatoria da norma.*
Mb,Rd,x: *momento resistente di progetto per l'instabilità per sollecitazione flettente attorno l'asse x-x. [kN·m]*
χ,LT: *coefficiente di riduzione per instabilità flesso-torsionale.*
λ adim. LT: *snellezza adimensionale per instabilità flesso-torsionale.*
L,LT: *distanza tra due ritegni torsionali. [m]*
M,critico: *momento critico. [kN·m]*
Mx,Eff,Ed: *momento interno efficace di verifica attorno x-x secondo ENV1993-1-1 §5.5.3. [kN·m]*
kLT: *valore di kLT.*
ky: *valore di ky.*
Wx: *modulo resistente della sezione per inflessione attorno all'asse x-x. [m³]*
Wy: *modulo resistente della sezione per inflessione attorno all'asse y-y. [m³]*
NRk: *resistenza caratteristica assiale. [kN]*
Mx,Ed max: *momento sollecitante massimo attorno l'asse x-x tra due ritegni all'inflessione attorno x-x. [kN·m]*
Mx,Rk: *resistenza caratteristica a flessione attorno l'asse x-x. [kN·m]*
My,Ed max: *momento sollecitante massimo attorno l'asse y-y tra due ritegni all'inflessione attorno y-y. [kN·m]*
My,Rk: *resistenza caratteristica a flessione attorno l'asse y-y. [kN·m]*
χ,x: *coefficiente di riduzione per inflessione attorno l'asse x-x.*
χ,y: *coefficiente di riduzione per inflessione attorno l'asse y-y.*
kxx: *valore di kxx.*
kxy: *valore di kxy.*
kyx: *valore di kyx.*
kyy: *valore di kyy.*
η: *valore di η.*
hw: *altezza dell'anima. [m]*
tw: *spessore dell'anima. [m]*
hw/tw max: *rapporto tra hw e tw massimo.*
Ascissa freccia: *ascissa della massima freccia. [m]*
Combinazione: *combinazione di verifica in cui è ricavata la freccia.*
Freccia: *massima freccia. [m]*
Luce: *luce di verifica. [m]*

L/f: *rapporto luce su freccia.*
L/f,min: *minimo rapporto luce su freccia consentito.*
Tipo: *freccia calcolata considerando le sole condizioni variabili o tutte le condizioni (totale) all'interno della combinazione di verifica.*

11.2. Travi secondarie

Le travi secondarie a sezione IPE240 coprono una luce di 10 metri e sono disposte ad interasse di 1,50 metri. Le travi sono calcolate con svincolo all'estremità e con una lunghezza libera di inflessione fuori piano ridotta a 5 metri per la presenza di travi di collegamento intermedie.



Si riportano i tabulati di verifica per la trave secondaria tipologica maggiormente sollecitata.

Caratteristiche del materiale

Acciaio: S275, fyk = 275000

Caratteristiche geometriche

Lunghezza: 10
Nodo iniziale: 656 Nodo finale: 658
Cerniera iniziale: No Cerniera finale: Svincolo: M2, M3
Sovraresistenza: 0% Sisma Z: No

Caratteristiche della sezione

Sezione	Rotazione	Area	Jx	Jy	ix	iy	Wx	Wy	Wplx	Wply
IPE240	0	0.003916	0.0000389661	0.0000028368	0.0998	0.0269	0.00032472	0.00004728	0.00036712	0.00007396

Verifiche di resistenza

Verifiche a forza assiale §4.2.4.1.2.1 - §4.2.4.1.2.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	Nc,Rd	Nt,Rd	Riduzione da taglio	ρx	ρy	Verifica
10	SLU 5	0.02	2	-20.567	1025.659		1	0	0	Si

Verifica a taglio Y §4.2.4.1.2.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vc,Rd	Av	Interazione taglio-torsione	Riduzione torsione	Verifica
10	SLU 134	0.048	-13.934	290.16	0.001919	Considerata	1	Si

Verifica a taglio Y SLD §4.2.4.1.2.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vc,Rd	Av	Interazione taglio-torsione	Riduzione torsione	Verifica
10	SLD 4	0.015	-4.247	290.16	0.001919	Considerata	1	Si

Verifica a torsione §4.2.4.1.2.5 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento torsione	TEd	TRd	Riduzione taglio resistente	Sfruttamento taglio-torsione	τEd,totale	τRd	Verifica
5	SLV 12	0.001	0.00114	1.43194	Considerata				Si

Verifica a flessione semplice X §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	Mx,Ed	Mx,Rd	Rid. Mx,Rd da VEd	ρx	ρy	Verifica
4.833	SLU 135	0.362	1	-34.84104	96.15049	1	0	0	Si

Verifica a flessione semplice X SLD §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	Mx,Ed	Mx,Rd	Rid. Mx,Rd da VEd	ρx	ρy	Verifica
5	SLD 2	0.113	1	-10.82979	96.15049	1	0	0	Si

Verifica a presso/tenso flessione retta X §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	Mx,Ed	Mx,Rd	Rid. Mx,Rd da VEd	Rid. Mx,Rd da NEd	ρx	ρy	Verifica
5	SLU 134	0.363	1	1.307	1025.659	1	-34.805	96.1505	1		0	0	Si

Verifiche ad instabilità

Caratteristiche iniziali

Membratura principale per controllo snellezza; Calcolo di snellezze ed N critici condotti secondo gli assi principali;
Curva X: a; Curva Y: b; Svergolamento: Carico all'estradosso; Curva svergolamento: b;

Dati per instabilità attorno a x

Controllo della snellezza secondo §4.2.4.1.3.1 NTC18

Numero rit.	Presente	Ascissa	Campata	βx/m	Vincolo a entrambi estremi	λx/m	λVer
1	Si	0					
			1-2	1	Si	100.3	Si, (<200)
2	Si	10					

Dati per instabilità attorno a y

Controllo della snellezza secondo §4.2.4.1.3.1 NTC18

Numero rit.	Presente	Ascissa	Campata	βy/n	k,LT	kw,LT	Vincolo a entrambi estremi	λy/n	λVer
1	Si	0							
			1-2	1	1	1	Si	185.8	Si, (<200)
2	Si	5							
			2-3	1	1	1	Si	185.8	Si, (<200)
3	Si	10							

Verifica a svergolamento §4.2.4.1.3.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	Obblig.	Mx,Ed	Mb,Rd,x	χ,LT	λ adim. LT	L,LT	M,critico	Verifica
4.833	SLU 135	0.544	1	Si	-34.84104	64.0824	0.666	1.054	5	90.84333	Si

Verifica a svergolamento SLD §4.2.4.1.3.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	Obblig.	Mx,Ed	Mb,Rd,x	χ,LT	λ adim. LT	L,LT	M,critico	Verifica
5	SLD 2	0.168	1	Si	-10.82975	64.48249	0.671	1.047	5	92.02653	Si

Verifica a svergolamento con trazione §4.2.4.1.3.2 NTC18 § 5.5.3 ENV 1993-1-1:1992 + AC:1992 + A1:1994 + A2:1998

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	Obblig.	NEd	Mx,Ed	Mx,Eff,Ed	Mb,Rd,x	χ,LT	λ adim. LT	L,LT	M,critico	Verifica
4.833	SLU 134	0.543	1	Si	0.865	-34.81881	-34.76863	64.04615	0.666	1.055	5	90.73723	Si

Verifica di stabilità per pressoflessione §C.4.2.4.1.3.3.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRk	Mx,Ed max	Mx,Rk	My,Ed max	My,Rk	χ,x	χ,y	kxx	kxy	kyx	kyy	χ,LT	Verifica
2.833	SLU 136	0.579	1	-11.163	1076.942	33.6397	100.95801	0.00019	20.33974	0.559	0.186	0.967	0.489	0.99	0.815	0.666	Si

Verifica di stabilità a taglio anima Y §4.2.4.1.2.4 [4.2.27] NTC18

η	hw	tw	hw/tw max	Verifica
1.2	0.22	0.006	55.46	Si

Verifica di stabilità a taglio anima Y SLD §4.2.4.1.2.4 [4.2.27] NTC18

η	hw	tw	hw/tw max	Verifica
1.2	0.22	0.006	55.46	Si

Verifiche a deformabilità

Mensola X: No; Mensola Y: No.
Attenzione: modello non lineare. Freccia variabile ricavata come differenza tra la freccia totale e la freccia permanente.

Frecce lungo X

Ascissa freccia	Combinazione	Freccia	Luce	L/f	L/f,min	Tipo	Verifica
4.167	SLE RA 1	0	10	10000	200	Totale	Si
4.167	SLE RA 32	0	10	10000	200	Totale	Si
3.833	SLE RA 31	0	10	10000	200	Totale	Si
4	SLE RA 30	0	10	10000	200	Totale	Si
4.167	SLE RA 29	0	10	10000	200	Totale	Si
3.667	SLE RA 3	0	10	10000	250	Variabile	Si
4.167	SLE RA 32	0	10	10000	250	Variabile	Si
3.833	SLE RA 31	0	10	10000	250	Variabile	Si
4.167	SLE RA 30	0	10	10000	250	Variabile	Si
4.333	SLE RA 29	0	10	10000	250	Variabile	Si

Frecce lungo Y

Ascissa freccia	Combinazione	Freccia	Luce	L/f	L/f,min	Tipo	Verifica
5	SLE RA 33	-0.03122	10	320.3	200	Totale	Si
5	SLE RA 32	-0.03122	10	320.3	200	Totale	Si
5	SLE RA 34	-0.03066	10	326.1	200	Totale	Si
5	SLE RA 23	-0.02753	10	363.3	200	Totale	Si
5	SLE RA 24	-0.02753	10	363.3	200	Totale	Si
5	SLE RA 7	0.03097	10	322.9	250	Variabile	Si
5	SLE RA 6	0.03093	10	323.3	250	Variabile	Si
5	SLE RA 8	0.0307	10	325.7	250	Variabile	Si
5	SLE RA 19	0.02442	10	409.6	250	Variabile	Si
5	SLE RA 18	0.02438	10	410.1	250	Variabile	Si

Significato dei simboli utilizzati:

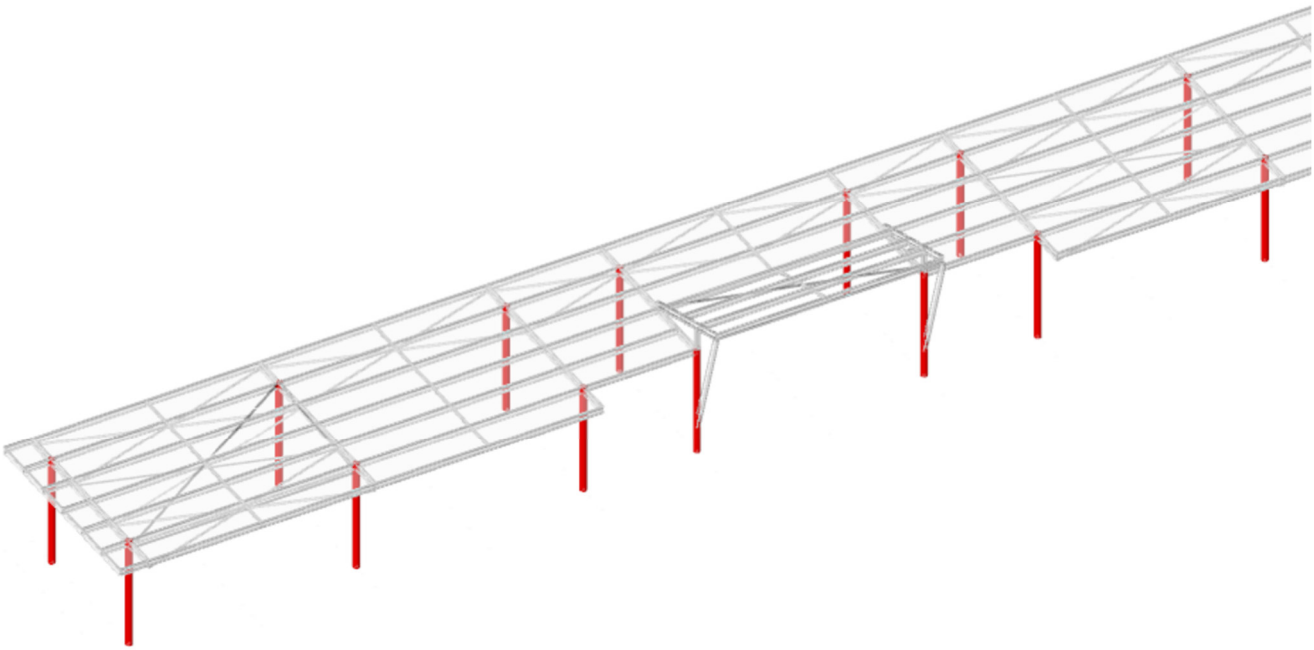
Le unità di misura elencate sono in [m, kN, deg] ove non espressamente specificato.

Sezione: *sezione in acciaio.*
Rotazione: *rotazione della sezione. [deg]*
Area: *area inerziale nel sistema geometrico centrato nel baricentro. [m²]*
Jx: *momento d'inerzia attorno all'asse orizzontale baricentrico di definizione della sezione. [m4]*
Jy: *momento d'inerzia attorno all'asse verticale baricentrico di definizione della sezione. [m4]*
ix: *raggio di inerzia relativo all'asse x. [m]*
iy: *raggio di inerzia relativo all'asse y. [m]*
Wx: *modulo di resistenza elastico minimo relativo all'asse x. [m³]*
Wy: *modulo di resistenza elastico minimo relativo all'asse y. [m³]*
Wplx: *modulo di resistenza plastico relativo all'asse x. [m³]*
Wply: *modulo di resistenza plastico relativo all'asse y. [m³]*
X: *distanza dal nodo iniziale. [m]*
Comb.: *combinazione di verifica.*
Sfruttamento: *rapporto di sfruttamento per la verifica in esame, inverso del coefficiente di sicurezza. Verificato se minore o uguale di 1.*
Classe: *classe della sezione.*
NEd: *sollecitazione assiale. [kN]*
Nc,Rd: *resistenza assiale a compressione ridotta per taglio. [kN]*
Nt,Rd: *resistenza assiale a trazione ridotta per taglio. [kN]*
Riduzione da taglio: *rapporto tra la resistenza assiale ridotta per taglio e la resistenza assiale.*
ρx: *coefficiente di riduzione della resistenza di snervamento per taglio in direzione x.*
ρy: *coefficiente di riduzione della resistenza di snervamento per taglio in direzione y.*
Verifica: *stato di verifica.*
VEd: *sollecitazione di taglio. [kN]*
Vc,Rd: *resistenza a taglio. [kN]*
Av: *area resistenza a taglio. [m²]*
Interazione taglio-torsione: *indica se è possibile ridurre il taglio resistente per presenza di torsione.*
Riduzione torsione: *coefficiente riduttivo della resistenza a taglio per presenza di torsione.*
Sfruttamento torsione: *rapporto tra TEd e TRd.*
TEd: *sollecitazione torcente. [kN·m]*
TRd: *resistenza a torsione. [kN·m]*
Riduzione taglio resistente: *indica se è possibile ridurre il taglio resistente per presenza di torsione.*
Sfruttamento taglio-torsione: *τEd,totale / (0.5 * τRd). Non verificato se maggiore di 1.*
τEd,totale: *somma delle tensioni tangenziali totale derivanti da taglio e torsione. [kN/m²]*
τRd: *tensione tangenziale resistente. [kN/m²]*
Mx,Ed: *sollecitazione flettente attorno x-x. [kN·m]*
Mx,Rd: *resistenza a flessione attorno x-x ridotta per taglio. [kN·m]*
Rid. Mx,Rd da VEd: *rapporto tra la resistenza flettente ridotta per taglio e la resistenza flettente attorno x-x.*
NRd: *resistenza assiale ridotta per taglio. [kN]*
Rid. NRd da VEd: *rapporto tra la resistenza assiale ridotta per taglio e la resistenza assiale.*
Mx,Rd: *resistenza a flessione attorno x-x ridotta. [kN·m]*
Rid. Mx,Rd da NEd: *rapporto tra la resistenza flettente ridotta per sforzo normale e taglio e la resistenza flettente ridotta per taglio attorno x-x.*
Numero rit.: *numero del ritegno.*
Presente: *indica se il ritegno è presente o meno.*
Ascissa: *ascissa del ritegno rispetto al nodo iniziale del superelemento o ascissa iniziale e finale della campata. [m]*
Campata: *campata tra i ritegni.*
βx/m: *coefficiente di lunghezza efficace per rotazione attorno a x/m.*
Vincolo a entrambi estremi: *indica se il tratto è vincolato a entrambi gli estremi.*
λx/m: *snellezza attorno a x/m del tratto tra i due ritegni.*
λVer: *snellezza accettabile.*
βy/n: *coefficiente di lunghezza efficace per rotazione attorno a y/n.*
k,LT: *coefficiente di lunghezza efficace per rotazione nel calcolo del momento critico ENV1993-1-1 F 1.2(3).*
kw,LT: *coefficiente di lunghezza efficace per ingobbamento nel calcolo del momento critico ENV1993-1-1 F 1.2(4).*
λy/n: *snellezza attorno a y/n del tratto tra i due ritegni.*
Obblig.: *indica se la verifica è obbligatoria da norma.*
Mb,Rd,x: *momento resistente di progetto per l'instabilità per sollecitazione flettente attorno l'asse x-x. [kN·m]*
χ,LT: *coefficiente di riduzione per instabilità flesso-torsionale.*
λ adim. LT: *snellezza adimensionale per instabilità flesso-torsionale.*
L,LT: *distanza tra due ritegni torsionali. [m]*
M,critico: *momento critico. [kN·m]*

Mx,Eff,Ed: *momento interno efficace di verifica attorno x-x secondo ENV1993-1-1 §5.5.3. [kN·m]*
NRk: *resistenza caratteristica assiale. [kN]*
Mx,Ed max: *momento sollecitante massimo attorno l'asse x-x tra due ritegni all'inflessione attorno x-x. [kN·m]*
Mx,Rk: *resistenza caratteristica a flessione attorno l'asse x-x. [kN·m]*
My,Ed max: *momento sollecitante massimo attorno l'asse y-y tra due ritegni all'inflessione attorno y-y. [kN·m]*
My,Rk: *resistenza caratteristica a flessione attorno l'asse y-y. [kN·m]*
χ,x: *coefficiente di riduzione per inflessione attorno l'asse x-x.*
χ,y: *coefficiente di riduzione per inflessione attorno l'asse y-y.*
kxx: *valore di kxx.*
kxy: *valore di kxy.*
kyx: *valore di kyx.*
kyy: *valore di kyy.*
η: *valore di η.*
hw: *altezza dell'anima. [m]*
tw: *spessore dell'anima. [m]*
hw/tw max: *rapporto tra hw e tw massimo.*
Ascissa freccia: *ascissa della massima freccia. [m]*
Combinazione: *combinazione di verifica in cui è ricavata la freccia.*
Freccia: *massima freccia. [m]*
Luce: *luce di verifica. [m]*
L/f: *rapporto luce su freccia.*
L/f,min: *minimo rapporto luce su freccia consentito.*
Tipo: *freccia calcolata considerando le sole condizioni variabili o tutte le condizioni (totale) all'interno della combinazione di verifica.*

11.3. Colonne

Le colonne sono poste ad interasse di 10 metri in senso longitudinale e 6 metri in senso trasversale. Sono ipotizzate a sezione circolare CHS323,9x6,3 mm per garantire una rigidezza identica rispetto alle direzioni principali.



Si riportano i tabulati di verifica per la trave secondaria tipologica maggiormente sollecitata.

Caratteristiche del materiale
Acciaio: S355, fyk = 355000
Caratteristiche geometriche
Lunghezza: 4.92
Nodo iniziale: 2 Nodo finale: 544
Cerniera iniziale: No Cerniera finale: Svincolo: M2
Sovraresistenza: 0% Sisma Z: No
Caratteristiche della sezione

Sezione	Rotazione	Area	Jx	Jy	ix	iy	Wx	Wy	Wplx	Wply
EN10219 273x8	0	0.00666	0.0000585171	0.0000585171	0.0937	0.0937	0.0004287	0.0004287	0.00056197	0.00056197

Verifiche di resistenza

Verifiche a forza assiale §4.2.4.1.2.1 - §4.2.4.1.2.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	Nc,Rd	Nt,Rd	Riduzione da taglio	ρx	ρy	Verifica
0	SLU 136	0.028	2	-63.041	2251.774		1	0	0	Si

Verifiche a forza assiale SLD §4.2.4.1.2.1 - §4.2.4.1.2.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	Nc,Rd	Nt,Rd	Riduzione da taglio	ρx	ρy	Verifica
0	SLD 9	0.014	2	-30.423	2251.774		1	0	0	Si

Verifica a taglio X §4.2.4.1.2.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vc,Rd	Av	Interazione taglio-torsione	Riduzione torsione	Verifica
1.148	SLV 14	0.024	19.461	827.645	0.00424	Considerata	1	Si

Verifica a taglio X SLD §4.2.4.1.2.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vc,Rd	Av	Interazione taglio-torsione	Riduzione torsione	Verifica
0	SLD 14	0.011	9.129	827.645	0.00424	Considerata	1	Si

Verifica a taglio Y §4.2.4.1.2.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vc,Rd	Av	Interazione taglio-torsione	Riduzione torsione	Verifica
2.788	SLV 9	0.023	-18.972	826.849	0.00424	Considerata	1	Si

Verifica a taglio Y SLD §4.2.4.1.2.4 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	VEd	Vc,Rd	Av	Interazione taglio-torsione	Riduzione torsione	Verifica
4.92	SLD 10	0.013	-10.505	827.209	0.00424	Considerata	1	Si

Verifica a torsione §4.2.4.1.2.5 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento torsione	TEd	TRd	Riduzione taglio resistente	Sfruttamento taglio-torsione	τEd,totale	τRd	Verifica
4.756	SLU 111	0.001	-0.1966	172.25825	Considerata				Si

Verifica a torsione SLD §4.2.4.1.2.5 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento torsione	TEd	TRd	Riduzione taglio resistente	Sfruttamento taglio-torsione	τEd,totale	τRd	Verifica
0	SLD 9	0.001	-0.09082	172.25825	Considerata				Si

Verifica a flessione deviata §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	Mx,Ed	Mx,Rd	My,Ed	My,Rd	Rid. Mx,Rd da VEd	Rid. My,Rd da VEd	α	β	ρx	ρy	Verifica
0	SLU 16	0.486	2	-8.3909	189.9996	83.9716	189.9996	1	1			0	0	Si

Verifica a presso/tenso flessione retta X §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	Mx,Ed	Mx,Rd	Rid. Mx,Rd da VEd	Rid. Mx,Rd da NEd	ρx	ρy	Verifica
4.92	SLV 10	0.237	2	-33.86	2251.774	1	-42.2201	189.9996	1		0	0	Si

Verifica a presso/tenso flessione retta X SLD §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	Mx,Ed	Mx,Rd	Rid. Mx,Rd da VEd	Rid. Mx,Rd da NEd	ρx	ρy	Verifica
4.92	SLD 9	0.139	2	-27.851	2251.774	1	-24.1523	189.9996	1		0	0	Si

Verifica a presso/tenso flessione retta Y §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	My,Ed	My,Rd	Rid. My,Rd da VEd	Rid. My,Rd da NEd	ρx	ρy	Verifica
1.968	SLU 3	0.264	2	-21.862	2251.774	1	-48.2517	189.9996	1		0	0	Si

Verifica a presso/tenso flessione retta Y SLD §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	My,Ed	My,Rd	Rid. My,Rd da VEd	Rid. My,Rd da NEd	ρx	ρy	Verifica
2.624	SLD 5	0.039	2	-29.046	2251.774	1	-4.9773	189.9996	1		0	0	Si

Verifica a presso/tenso flessione deviata §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	Mx,Ed	Mx,Rd	My,Ed	My,Rd	Rid. Mx,Rd da VEd	Rid. Mx,Rd da NEd	Rid. My,Rd da VEd	Rid. My,Rd da NEd	α	β	ρx	ρy	Verifica
0	SLV 13	0.615	2	-27.437	2251.774	1	17.0212	189.9996	97.495	189.9996	1		1				0	0	Si

Verifica a presso/tenso flessione deviata SLD §§ 4.2.4.1.2.3 - 4.2.4.1.2.6 - 4.2.4.1.2.7 - 4.2.4.1.2.8 NTC18

Verifiche eseguite utilizzando la formula conservativa (6.2) §6.2.1 EN 1993-1-1:2005.

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRd	Rid. NRd da VEd	Mx,Ed	Mx,Rd	My,Ed	My,Rd	Rid. Mx,Rd da VEd	Rid. Mx,Rd da NEd	Rid. My,Rd da VEd	Rid. My,Rd da NEd	α	β	ρx	ρy	Verifica
0	SLD 14	0.3	2	-25.627	2251.774	1	9.2069	189.9996	45.6662	189.9996	1		1				0	0	Si

Verifiche ad instabilità

Caratteristiche iniziali

Membratura principale per controllo snellezza; Calcolo di snellezze ed N critici condotti secondo gli assi principali;
Curva X: c; Curva Y: c;
Svergolamento: Nessuno; la verifica a instabilità flesso-torsionale (svergolamento) non verrà eseguita.

Dati per instabilità attorno a x

Controllo della snellezza secondo §4.2.4.1.3.1 NTC18

Numero rit.	Presente	Ascissa	Campata	βx/m	Vincolo a entrambi estremi	λx/m	λVer
1	Si	0					
			1-2	1	Si	52.5	Si, (<200)
2	Si	4.92					

Dati per instabilità attorno a y

Controllo della snellezza secondo §4.2.4.1.3.1 NTC18

Numero rit.	Presente	Ascissa	Campata	βy/n	Vincolo a entrambi estremi	λy/n	λVer
1	Si	0					
			1-2	1	Si	52.5	Si, (<200)
2	Si	4.92					

Verifica di stabilità per pressoflessione §C.4.2.4.1.3.3.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRk	Mx,Ed max	Mx,Rk	My,Ed max	My,Rk	χ,x	χ,y	kxx	kxy	kyx	kyy	χ,LT	Verifica
0	SLV 13	0.349	2	-27.437	2364.363	17.02117	199.49959	97.49498	199.49959	0.733	0.733	0.403	0.363	0.242	0.605		Si

Verifica di stabilità per pressoflessione SLD §C.4.2.4.1.3.3.2 NTC18

X	Comb.	Sfruttamento	Classe	NEd	NRk	Mx,Ed max	Mx,Rk	My,Ed max	My,Rk	χ,x	χ,y	kxx	kxy	kyx	kyy	χ,LT	Verifica
0	SLD 13	0.173	2	-25.627	2364.363	9.84159	199.49959	45.66622	199.49959	0.733	0.733	0.403	0.363	0.242	0.605		Si

Verifiche a deformabilità

Mensola X: No; Mensola Y: No.
Verifiche non eseguite in quanto il superelemento è verticale.

Significato dei simboli utilizzati:

Le unità di misura elencate sono in [m, kN, deg] ove non espressamente specificato.

Sezione: *sezione in acciaio.*
Rotazione: *rotazione della sezione. [deg]*
Area: *area inerziale nel sistema geometrico centrato nel baricentro. [m²]*
Jx: *momento d'inerzia attorno all'asse orizzontale baricentrico di definizione della sezione. [m4]*
Jy: *momento d'inerzia attorno all'asse verticale baricentrico di definizione della sezione. [m4]*
ix: *raggio di inerzia relativo all'asse x. [m]*
iy: *raggio di inerzia relativo all'asse y. [m]*
Wx: *modulo di resistenza elastico minimo relativo all'asse x. [m³]*
Wy: *modulo di resistenza elastico minimo relativo all'asse y. [m³]*
Wplx: *modulo di resistenza plastico relativo all'asse x. [m³]*
Wply: *modulo di resistenza plastico relativo all'asse y. [m³]*
X: *distanza dal nodo iniziale. [m]*
Comb.: *combinazione di verifica.*
Sfruttamento: *rapporto di sfruttamento per la verifica in esame, inverso del coefficiente di sicurezza. Verificato se minore o uguale di 1.*
Classe: *classe della sezione.*
NEd: *sollecitazione assiale. [kN]*
Nc,Rd: *resistenza assiale a compressione ridotta per taglio. [kN]*
Nt,Rd: *resistenza assiale a trazione ridotta per taglio. [kN]*
Riduzione da taglio: *rapporto tra la resistenza assiale ridotta per taglio e la resistenza assiale.*
ρx: *coefficiente di riduzione della resistenza di snervamento per taglio in direzione x.*
ρy: *coefficiente di riduzione della resistenza di snervamento per taglio in direzione y.*
Verifica: *stato di verifica.*
VEd: *sollecitazione di taglio. [kN]*
Vc,Rd: *resistenza a taglio. [kN]*
Av: *area resistenza a taglio. [m²]*
Interazione taglio-torsione: *indica se è possibile ridurre il taglio resistente per presenza di torsione.*
Riduzione torsione: *coefficiente riduttivo della resistenza a taglio per presenza di torsione.*
Sfruttamento torsione: *rapporto tra TEd e TRd.*
TEd: *sollecitazione torcente. [kN·m]*
TRd: *resistenza a torsione. [kN·m]*
Riduzione taglio resistente: *indica se è possibile ridurre il taglio resistente per presenza di torsione.*
Sfruttamento taglio-torsione: *τEd,totale / (0.5 * τRd). Non verificato se maggiore di 1.*
τEd,totale: *somma delle tensioni tangenziali totale derivanti da taglio e torsione. [kN/m²]*
τRd: *tensione tangenziale resistente. [kN/m²]*
Mx,Ed: *sollecitazione flettente attorno x-x. [kN·m]*
Mx,Rd: *resistenza a flessione attorno x-x ridotta per taglio. [kN·m]*
My,Ed: *sollecitazione flettente attorno y-y. [kN·m]*
My,Rd: *resistenza a flessione attorno y-y ridotta per taglio. [kN·m]*
Rid. Mx,Rd da VEd: *rapporto tra la resistenza flettente ridotta per taglio e la resistenza flettente attorno x-x.*
Rid. My,Rd da VEd: *rapporto tra la resistenza flettente ridotta per taglio e la resistenza flettente attorno y-y.*
α: *esponente α per flessione deviata.*
β: *esponente β per flessione deviata.*
NRd: *resistenza assiale ridotta per taglio. [kN]*
Rid. NRd da VEd: *rapporto tra la resistenza assiale ridotta per taglio e la resistenza assiale.*
Mx,Rd: *resistenza a flessione attorno x-x ridotta. [kN·m]*
Rid. Mx,Rd da NEd: *rapporto tra la resistenza flettente ridotta per sforzo normale e taglio e la resistenza flettente ridotta per taglio attorno x-x.*
My,Rd: *resistenza a flessione attorno y-y ridotta. [kN·m]*
Rid. My,Rd da NEd: *rapporto tra la resistenza flettente ridotta per sforzo normale e taglio e la resistenza flettente ridotta per taglio attorno y-y.*
Numero rit.: *numero del ritegno.*

***Presente**: indica se il ritegno è presente o meno.*
***Ascissa**: ascissa del ritegno rispetto al nodo iniziale del superelemento o ascissa iniziale e finale della campata. [m]*
***Campata**: campata tra i ritegni.*
***βx/m**: coefficiente di lunghezza efficace per rotazione attorno a x/m.*
***Vincolo a entrambi estremi**: indica se il tratto è vincolato a entrambi gli estremi.*
***λx/m**: snellezza attorno a x/m del tratto tra i due ritegni.*
***λVer**: snellezza accettabile.*
***βy/n**: coefficiente di lunghezza efficace per rotazione attorno a y/n.*
***λy/n**: snellezza attorno a y/n del tratto tra i due ritegni.*
***NRk**: resistenza caratteristica assiale. [kN]*
***Mx,Ed max**: momento sollecitante massimo attorno l'asse x-x tra due ritegni all'inflessione attorno x-x. [kN·m]*
***Mx,Rk**: resistenza caratteristica a flessione attorno l'asse x-x. [kN·m]*
***My,Ed max**: momento sollecitante massimo attorno l'asse y-y tra due ritegni all'inflessione attorno y-y. [kN·m]*
***My,Rk**: resistenza caratteristica a flessione attorno l'asse y-y. [kN·m]*
***χ,x**: coefficiente di riduzione per inflessione attorno l'asse x-x.*
***χ,y**: coefficiente di riduzione per inflessione attorno l'asse y-y.*
***kxx**: valore di kxx.*
***kxy**: valore di kxy.*
***kyx**: valore di kyx.*
***kyy**: valore di kyy.*
***χ,LT**: coefficiente di riduzione per instabilità flesso-torsionale.*

Spostamento di interpiano 1 tra "Fondazione" e "Colmo"

Verifiche condotte secondo D.M. 17-01-18 (N.T.C.)

Caratteristiche geometriche

Nodo inferiore: 2 (0; 0.5; 0); Nodo superiore: 544 (0; 0.5; 4.92)
Altezza di interpiano (h): 4.92; Spostamento relativo limite: 0.006667

Verifica nelle combinazioni SLO

Combinazione	Spostamento nodo inferiore		Spostamento nodo superiore		δ	δ/h	Verifica
	X	Y	X	Y			
1	-0.00021407	-0.0001012	-0.03237511	-0.00406336	0.03240419	0.006586	Si
2	-0.00021407	-0.0001012	-0.03237511	-0.00406336	0.03240419	0.006586	Si
3	-0.00022019	0.00011237	-0.03232658	0.00449554	0.0324042	0.006586	Si
4	-0.00022019	0.00011237	-0.03232658	0.00449554	0.0324042	0.006586	Si
5	-0.00005526	-0.00035049	-0.00981418	-0.01406082	0.01682884	0.00342	Si
6	-0.00005526	-0.00035049	-0.00981418	-0.01406082	0.01682884	0.00342	Si
7	-0.00007443	0.00036117	-0.00966642	0.01448845	0.0170759	0.003471	Si
8	-0.00007443	0.00036117	-0.00966642	0.01448845	0.0170759	0.003471	Si
9	0.00007474	-0.00035058	0.00957141	-0.01407077	0.01668623	0.003392	Si
10	0.00007474	-0.00035058	0.00957141	-0.01407077	0.01668623	0.003392	Si
11	0.00005662	0.00036086	0.00970761	0.01449494	0.01711473	0.003479	Si
12	0.00005662	0.00036086	0.00970761	0.01449494	0.01711473	0.003479	Si
13	0.00022049	-0.00010177	0.03223008	-0.00407739	0.03225553	0.006556	Si
14	0.00022049	-0.00010177	0.03223008	-0.00407739	0.03225553	0.006556	Si
15	0.00021542	0.00011159	0.03226694	0.00449817	0.03235031	0.006575	Si
16	0.00021542	0.00011159	0.03226694	0.00449817	0.03235031	0.006575	Si

12. FONDAZIONI

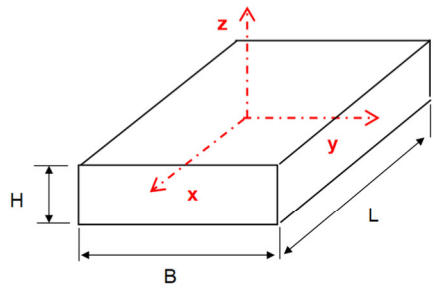
Le fondazioni previste, considerando i valori relativamente bassi dei carichi agenti, sono di tipo superficiale su travi a sezione rettangolare di base 100 cm e altezza 50 cm.

12.1. Capacità portante

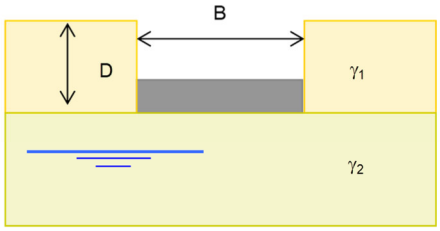
La capacità portante del terreno viene stimata con un foglio di calcolo interno dello studio, ipotizzando a favore di sicurezza un terreno incoerente con angolo di attrito $\emptyset = 20°$

VERIFICA CARICO LIMITE FONDAZIONE A TRAVE ROVESCIA

ELEMENTO : TRAVE DI FONDAZIONE PASSERELLA LAND-SIDE



Caratteristiche geometriche della trave rovescia				
Larghezza fondazione (L > 5B)	B	=	**0.80**	m
Lunghezza fondazione	L	=	**290.00**	m
Altezza basamento fondazione	H	=	**0.50**	m
Caratteristiche del terreno				
Profondità piano posa	D	=	**1.00**	m
Peso specifico strato terreno 1	γ_{t1}	=	**18.0**	kN/m^3
Peso specifico strato terreno 2	γ_{t2}	=	**18.0**	kN/m^3
Livello della falda	Falda livelllo piano di posa fondazione			
Peso specifico di calcolo	γ_1	=	18	kN/m^3
Peso specifico di calcolo	γ_2	=	8	kN/m^3 $= \gamma - \gamma_\omega$
Caratteristiche altri materiali				
Peso specifico dell'acqua	γ_w	=	10	kN/m^3
Peso specifico del cls	γ_{cls}	=	25	kN/m^3
Peso proprio fondazione	$P_f = B\ L\ H\ \gamma_{cls}$	=	2900.0	kN
Condizioni di carico				
Tipo di calcolo adottato per le azioni	Tensioni Ammissibili (TA)			
Coefficiente di sicurezza per qlim	cs	=	**3**	
Momento flettente di progetto dir. x	M_x	=	**0.0**	kNm
Momento flettente di progetto dir. y	M_y	=	**0.0**	kNm
Sforzo normale di progetto	$\lvert N_z \rvert$	=	**0.0**	kN
Eccentricità lungo asse y	$e_y = M_x/(N+P_f)$	=	0.000	m
Eccentricità lungo asse x	$e_x = M_y/(N+P_f)$	=	0.000	m
Larghezza ridotta del plinto in x	$B_R = B - 2e_y$	=	0.80	m
Lunghezza ridotta del plinto in y	$L_R = L - 2e_x$	=	290.00	m



***Verifica del carico limite per terreni incoerenti (condizione drenata)*, c = 0, ϕ > 0**

Carico Limite in condizione drenata

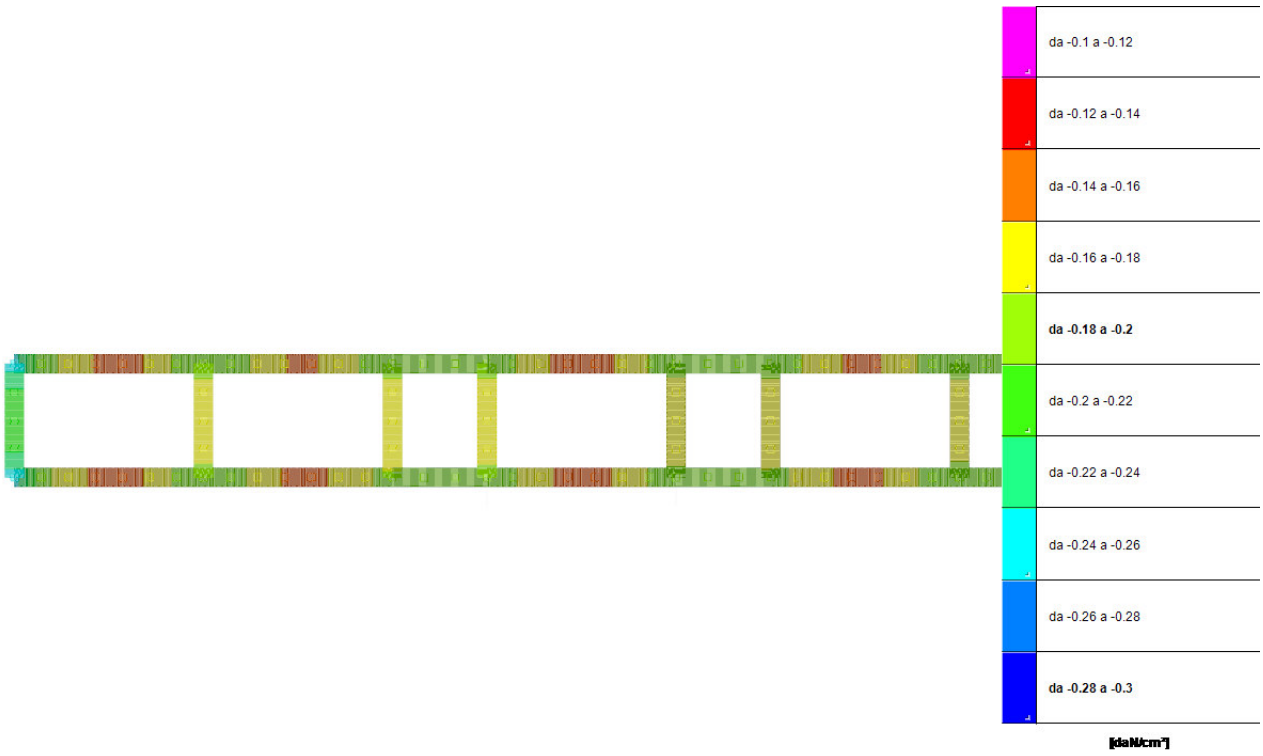
Coesione dren. sotto piano posa	c'	=	0.000	MPa	si ipotizza coesione nulla	
Angolo di attrito interno del terreno	ϕ'	=	**20**	°	si ipotizza angolo di attrito non nullo	
	N_q	=	6.40			
	N_c	=	14.83			
	N_γ	=	5.39			
Carico limite						
$q_{lim} = N_c\, c' + N_q\, (\gamma_1 D) + N_\gamma\, \gamma_2\, B_R/2$		=	0.13	MPa		
Limite massimo del carico di esercizio	$q_{es} = q_{lim}/cs$	=	**0.04**	MPa	=	0.44 daN/cm^2

12.2. Pressione massima sul terreno

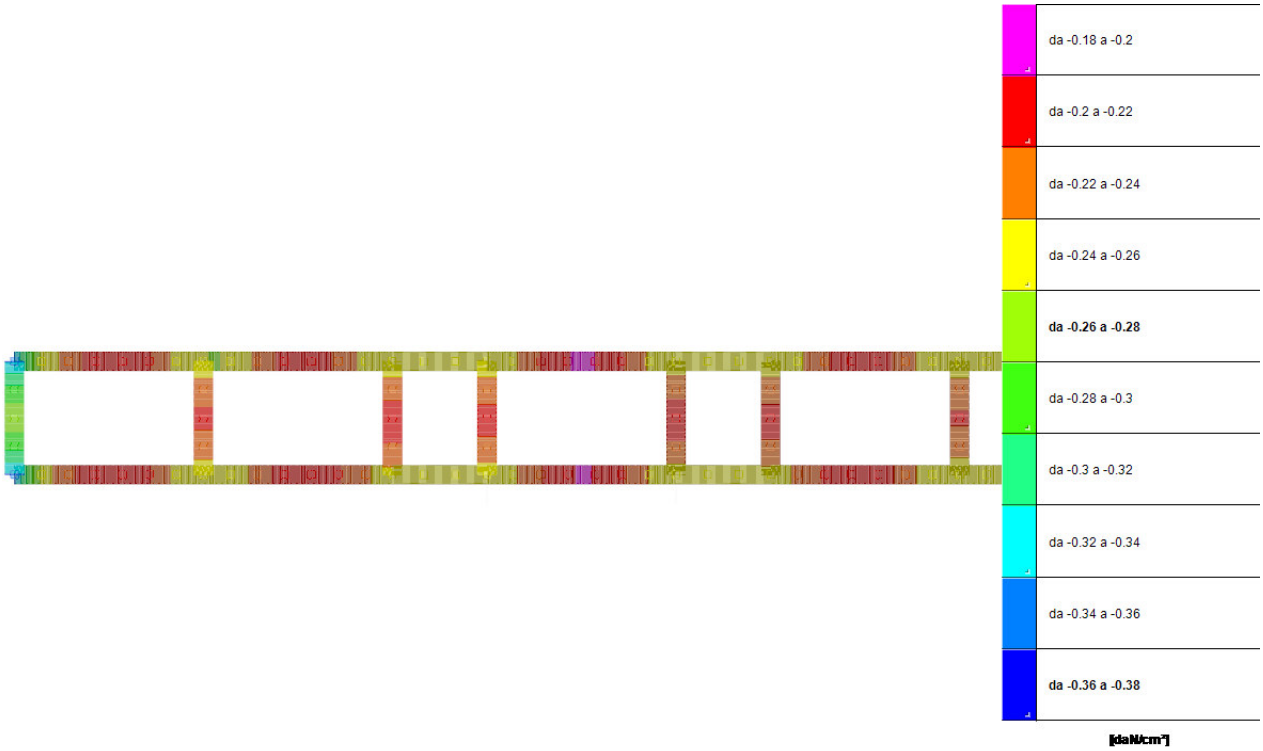
Di seguito si riportano le pressioni massime agenti sul terreno per i principali stati limite considerati.

Dalle immagini seguenti si evince come in tutti i punti la pressione massima agente sul terreno nelle varie combinazioni non supera il valore di capacità portante precedentemente determinato.

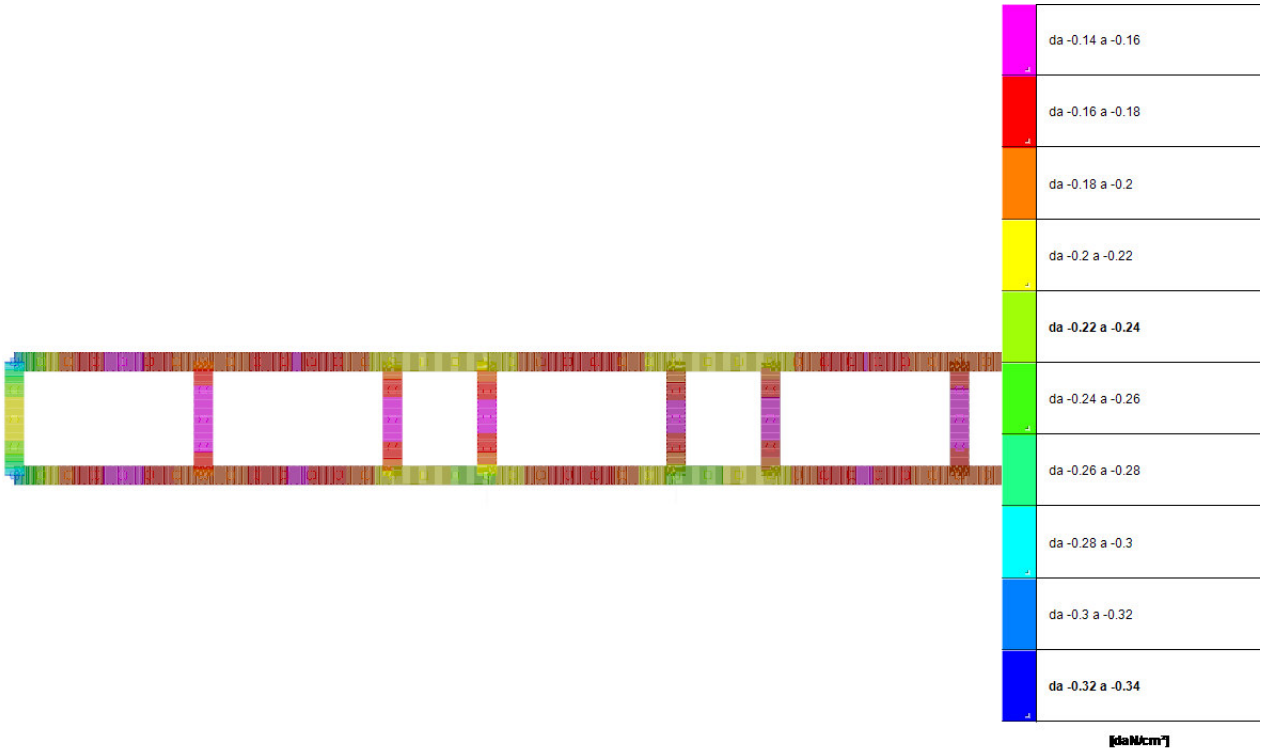
Si ritiene quindi soddisfatta la verifica di portanza del terreno.



Pressioni terreno – SLE



Pressioni terreno - SLU



Pressioni terreno - SLV

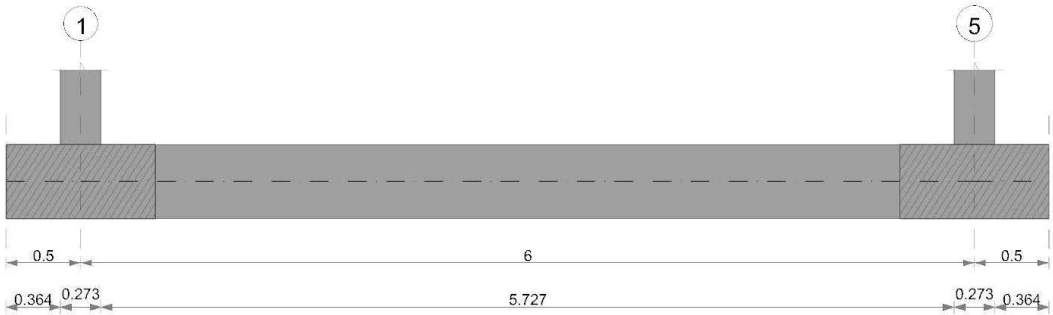
12.3. Trave di fondazione

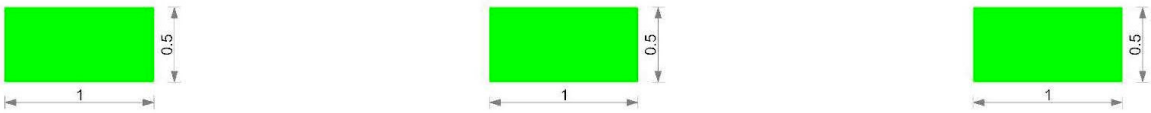
Di seguito si riportano i tabulati di verifica della trave di fondazione.

SAC01 - Adeguamento Aerostazione

Trave di fondazione a "Fondazione" 1-5

Geometria





Caratteristiche dei materiali

Acciaio: B450C Fyk 450000
Calcestruzzo: C32/40 Rck 40000

Elenco delle sezioni

N°	Descrizione	Tipo	Base	Altezza	Copriferro sup.	Copriferro inf.	Copriferro lat.
1	R 100x50	Rettangolare	1	0.5	0.055	0.055	0.055

Diagramma verifica stato limite ultimo flessione

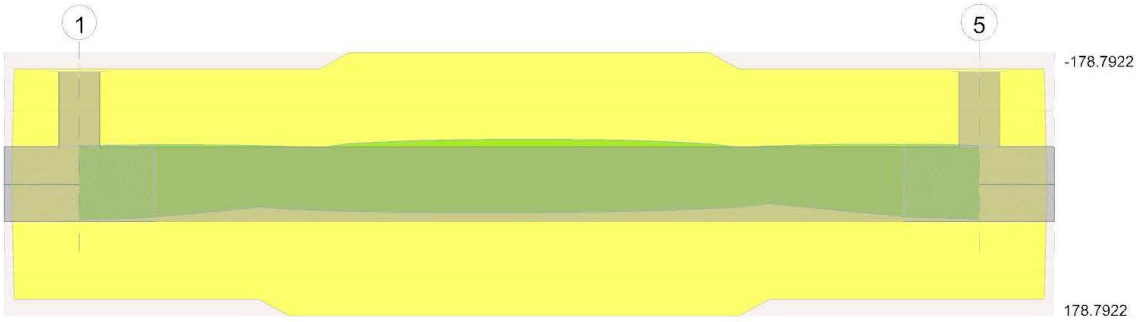
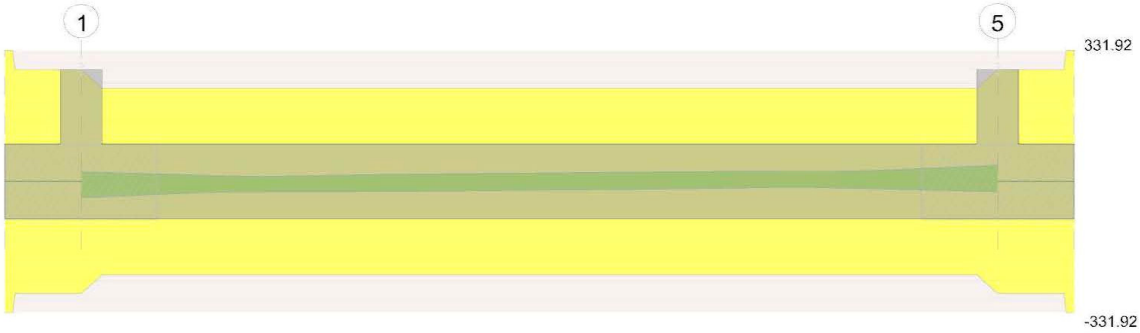


Diagramma verifica stato limite ultimo taglio



Output campate

Sismicad 12.24 - Licenza assegnata a - INCIDE ENGINEERING S.R.L. VIA SAN FRANCESCO, 91 PADOVA 1

SAC01 - Adeguamento Aerostazione

Campata 2 tra i fili 1 - 5, sezione R 100x50, aste 32, 31, 30, 29

Verifiche a flessione in famiglia SLU

x	A sup.	C.b. sup.	A inf.	C.b. inf.	M+ela	Comb.	M+des	M+ult	x/d	coeff	M-ela	Comb.	M-des	M-ult	x/d	coeff	Verifica
0	0.001005	0.073	0.001005	0.073	8.9954	SLU 4	8.9954	178.7922	0.115	19.88	-5.6151	SLU 124	-5.6151	-178.7922	0.115	31.84	Si
0.14	0.001005	0.073	0.001005	0.073	12.2017	SLU 6	16.3192	178.7922	0.115	10.96	-10.8938	SLU 124	-17.7116	-178.7922	0.115	10.09	Si
3	0.001005	0.073	0.001005	0.073	38.7966	SLU 6	39.019	178.7922	0.115	4.58	-60.9597	SLU 136	-60.9597	-178.7922	0.115	2.93	Si
5.86	0.001005	0.073	0.001005	0.073	4.1764	SLU 7	8.0602	178.7922	0.115	22.18	-9.8631	SLU 136	-16.8978	-178.7922	0.115	10.58	Si
6	0.001005	0.073	0.001005	0.073	2.0483	SLU 8	2.0483	178.7922	0.115	87.29	-6.2017	SLU 134	-6.2017	-178.7922	0.115	28.83	Si

Verifiche a flessione in famiglia SLV (domini sostanzialmente elastici)

La struttura oppure parte di essa, è stata dichiarata come non dissipativa pertanto la verifica a pressoflessione, per tutte o solo alcune sezioni, viene eseguita calcolando i momenti resistenti in campo sostanzialmente elastico secondo D.M. 17-01-2018 §7.4.1
Le dilatazioni ultime utilizzate sono le seguenti: εc2= 0.002, εyd= 0.0019

x	A sup.	C.b. sup.	A inf.	C.b. inf.	M+ela	Comb.	M+des	M+ult	x/d	coeff	M-ela	Comb.	M-des	M-ult	x/d	coeff	Verifica
0	0.001005	0.073	0.001005	0.073	50.4906	SLV 7	48.8106	156.3993	0.172	3.2	-51.4552	SLV 9	-51.4552	-156.3993	0.172	3.04	Si
0.14	0.001005	0.073	0.001005	0.073	47.6762	SLV 11	47.6762	156.3993	0.172	3.28	-51.8783	SLV 5	-52.9557	-156.3993	0.172	2.95	Si
3	0.001005	0.073	0.001005	0.073	1.8917	SLV 13	3.1281	156.3993	0.172	50	-38.3768	SLV 1	-39.4817	-156.3993	0.172	3.96	Si
5.4	0.001005	0.073	0.001005	0.073	38.7236	SLV 9	42.2204	156.3993	0.172	3.7	-54.4292	SLV 7	-54.4292	-156.3993	0.172	2.87	Si
5.86	0.001005	0.073	0.001005	0.073	46.8272	SLV 9	46.8272	156.3993	0.172	3.34	-52.7339	SLV 7	-53.7784	-156.3993	0.172	2.91	Si
6	0.001005	0.073	0.001005	0.073	49.6116	SLV 5	47.9411	156.3993	0.172	3.26	-52.3207	SLV 11	-52.3207	-156.3993	0.172	2.99	Si

Verifiche SLD Resistenza a flessione (domini sostanzialmente elastici)

La struttura oppure parte di essa, è stata dichiarata come non dissipativa pertanto la verifica a pressoflessione, per tutte o solo alcune sezioni, viene eseguita calcolando i momenti resistenti in campo sostanzialmente elastico secondo D.M. 17-01-2018 §7.4.1
Le dilatazioni ultime utilizzate sono le seguenti: εc2= 0.002, εyd= 0.0019

x	A sup.	C.b. sup.	A inf.	C.b. inf.	M+ela	Comb.	M+des	M+ult	x/d	coeff	M-ela	Comb.	M-des	M-ult	x/d	coeff	Verifica
0	0.001005	0.073	0.001005	0.073	26.6703	SLD 7	25.3942	156.3993	0.172	6.16	-27.6332	SLD 9	-27.6332	-156.3993	0.172	5.66	Si
0.14	0.001005	0.073	0.001005	0.073	24.3764	SLD 11	24.3764	156.3993	0.172	6.42	-28.6662	SLD 5	-30.199	-156.3993	0.172	5.18	Si
3	0.001005	0.073	0.001005	0.073							-27.5259	SLD 3	-28.1078	-156.3993	0.172	5.56	Si
5	0.001005	0.073	0.001005	0.073	10.966	SLD 9	13.7586	156.3993	0.172	11.37	-33.4974	SLD 7	-33.4974	-156.3993	0.172	4.67	Si
5.86	0.001005	0.073	0.001005	0.073	23.5269	SLD 9	23.5269	156.3993	0.172	6.65	-29.5185	SLD 7	-31.0182	-156.3993	0.172	5.04	Si
6	0.001005	0.073	0.001005	0.073	25.7962	SLD 5	24.5296	156.3993	0.172	6.38	-28.5009	SLD 11	-28.5009	-156.3993	0.172	5.49	Si

Verifiche a taglio in famiglia SLU

x	A st	A sl	A sag	Vela	Comb.	Vdes	Vrd	Vrcd	Vrsd	Vult	cotgθ	coeff	Verifica
0	0.0000188	0.001005	0	24.4	SLU 6	24.4	188.25	1807.49	283.46	283.46	1	11.62	Si
0	0.0000188	0.001005	0	-41	SLU 136	-41	-188.25	-1807.49	-283.46	-283.46	1	6.91	Si
0.14	0.0000157	0.001005	0	22.78	SLU 6	22.78	188.25	1807.49	236.21	236.21	1	10.37	Si
0.14	0.0000157	0.001005	0	-38.57	SLU 136	-38.57	-188.25	-1807.49	-236.21	-236.21	1	6.12	Si
3	0.0000157	0.001005	0	0.79	SLU 10	0.79	188.25	1807.49	236.21	236.21	1	299.22	Si
3	0.0000157	0.001005	0	-2.53	SLU 118	-2.53	-188.25	-1807.49	-236.21	-236.21	1	93.4	Si
5.86	0.0000157	0.001005	0	38.65	SLU 136	38.65	188.25	1807.49	236.21	236.21	1	6.11	Si
5.86	0.0000157	0.001005	0	-24.31	SLU 6	-24.31	-188.25	-1807.49	-236.21	-236.21	1	9.72	Si
6	0.0000188	0.001005	0	41.07	SLU 136	41.07	188.25	1807.49	283.46	283.46	1	6.9	Si
6	0.0000188	0.001005	0	-25.69	SLU 6	-25.69	-188.25	-1807.49	-283.46	-283.46	1	11.03	Si

Verifiche a taglio in famiglia SLV

x	A st	A sl	A sag	Vela	Comb.	Vdes	Vrd	Vrcd	Vrsd	Vult	cotgθ	coeff	Verifica
0	0.0000188	0.001005	0	4.87	SLV 13	4.87	188.25	1807.49	283.46	283.46	1	58.17	Si
0	0.0000188	0.001005	0	-30.2	SLV 3	-30.2	-188.25	-1807.49	-283.46	-283.46	1	9.39	Si
0.14	0.0000157	0.001005	0	5.14	SLV 13	5.14	188.25	1807.49	236.21	236.21	1	45.94	Si
0.14	0.0000157	0.001005	0	-29.01	SLV 3	-29.01	-188.25	-1807.49	-236.21	-236.21	1	8.14	Si
3	0.0000157	0.001005	0	21.09	SLV 9	21.09	188.25	1807.49	236.21	236.21	1	11.2	Si
3	0.0000157	0.001005	0	-21.45	SLV 11	-21.45	-188.25	-1807.49	-236.21	-236.21	1	11.01	Si
5.86	0.0000157	0.001005	0	28.85	SLV 1	28.85	188.25	1807.49	236.21	236.21	1	8.19	Si
5.86	0.0000157	0.001005	0	-5.29	SLV 15	-5.29	-188.25	-1807.49	-236.21	-236.21	1	44.62	Si
6	0.0000188	0.001005	0	30.07	SLV 1	30.07	188.25	1807.49	283.46	283.46	1	9.43	Si
6	0.0000188	0.001005	0	-5	SLV 15	-5	-188.25	-1807.49	-283.46	-283.46	1	56.68	Si

Verifiche SLD Resistenza a taglio

x	A st	A sl	A sag	Vela	Comb.	Vdes	Vrd	Vrcd	Vrsd	Vult	cotgθ	coeff	Verifica
0	0.0000188	0.001005	0	-20.91	SLD 3	-20.91	-188.25	-1807.49	-283.46	-283.46	1	13.56	Si
0.14	0.0000157	0.001005	0	-20	SLD 3	-20	-188.25	-1807.49	-236.21	-236.21	1	11.81	Si
3	0.0000157	0.001005	0	11.16	SLD 9	11.16	188.25	1807.49	236.21	236.21	1	21.17	Si
3	0.0000157	0.001005	0	-11.52	SLD 11	-11.52	-188.25	-1807.49	-236.21	-236.21	1	20.51	Si
5.86	0.0000157	0.001005	0	19.84	SLD 1	19.84	188.25	1807.49	236.21	236.21	1	11.91	Si
6	0.0000188	0.001005	0	20.77	SLD 1	20.77	188.25	1807.49	283.46	283.46	1	13.64	Si

Verifica delle tensioni in esercizio

x	Rara							Quasi permanente							Verifica
	Mela	Comb.	Mdes	σ c	σ c lim.	σ f.	σ f lim.	Mela	Comb.	Mdes	σ c	σ c lim.	σ FRP	σ FRP lim.	
0	5.7855	6	5.7855	127	19920	1910	360000								Si
0	-3.8222	22	-3.8222	84	19920	1262	360000	-0.4827	1	-0.4827	11	14940			Si

SAC01 - Adeguamento Aerostazione

	Mela	Comb.	Mdes	σ c	σ c lim.	σ f.	σ f lim.	Mela	Comb.	Mdes	σ c	σ c lim.	σ FRP	σ FRP lim.	
0.14	7.3176	6	9.2681	204	19920	3059	360000								Si
0.14	-7.5121	22	-12.2784	270	19920	4053	360000	-2.1607	1	-4.3368	95	14940			Si
3	19.1785	6	19.3635	426	19920	6391	360000								Si
3	-42.4897	34	-42.4897	935	19920	14024	360000	-18.2484	1	-18.2484	402	14940			Si
5.86	1.6485	7	3.4734	76	19920	1146	360000								Si
5.86	-6.8394	34	-11.7491	259	19920	3878	360000	-3.0111	1	-5.1535	113	14940			Si
6	0.8408	8	0.8408	19	19920	278	360000								Si
6	-4.2404	32	-4.2404	93	19920	1400	360000	-1.353	1	-1.353	30	14940			Si

Verifica di apertura delle fessure

La campata non presenta apertura delle fessure

Verifiche geotecniche

Verifiche geotecniche di scorrimento sul piano di posa

Size X	Size Y	Comb.	Sis.	Cnd	Fx	Fy	Fz	IncX	IncY	Phi	Ad	RPI	γR	Rd	Ed	Rd/Ed	Verifica
6	1	SLU 4	ST	LT	1.6	-6.43	-37.4	2	-10	25	0	0	1.1	15.86	6.62	2.39	Si
6	1	SLV 15	SIS	LT	4.43	-10.69	-69.53	4	-9	25	0	0	1.1	29.47	11.57	2.55	Si

Verifiche geotecniche di capacità portante sul piano di posa

Aste	Size X	Size Y	Comb	Type	Cnd	γR	Rd	Ed	Rd/Ed	Verifica
32,31,30,29	6	1	SLU 124	ST	BT	2.3	326.61	177.71	1.84	Si
32,31,30,29	6	1	SLV 3	SIS	BT	2.3	288.08	130.88	2.2	Si
32,31,30,29	6	1	SLD 3	SIS	BT	2.3	317.07	114.34	2.77	Si

Verifiche geotecniche di capacità portante - parametri utilizzati nel calcolo di Rd

Fx	Fy	Fz	Mx	My	Inc.x	Inc.y	Ecc.x	Ecc.y	B'	L'	qd	γs	Fi	Coes	Amax
0	5.86	-177.71	-5.8297	-1.6497	0	2	-0.01	-0.03	0.93	5.98	10	17	0	20	
0	10.66	-130.88	-7.9276	19.855	0	5	0.15	-0.06	0.88	5.7	10	17	0	20	0.14
0	4.91	-114.34	-3.9218	10.845	0	2	0.09	-0.03	0.93	5.81	10	17	0	20	0.08

Verifiche geotecniche di capacità portante - fattori utilizzati nel calcolo di Rd

N			S			D			I			B			G			P			E		
Nq	Nc	Ng	Sq	Sc	Sg	Dq	Dc	Dg	Iq	Ic	Ig	Bq	Bc	Bg	Gq	Gc	Gg	Pq	Pc	Pg	Eq	Ec	Eg
1	5	0	0	0.03	0	0	0.2	0	0	0.02	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
1	5	0	0	0.03	0	0	0.2	0	0	0.04	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
1	5	0	0	0.03	0	0	0.2	0	0	0.02	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0

Tensioni sul terreno campata 2

x	σ min.	Comb.	σ lim.	γR	Coeff. sic.
0	34.3	SLU 136	600	2.3	7.6
0.14	33.8	SLU 136	600	2.3	7.71
3	27.5	SLU 136	600	2.3	9.48
5.86	33.7	SLU 136	600	2.3	7.73
6	34.2	SLU 136	600	2.3	7.62

Significato dei simboli utilizzati:

Le unità di misura elencate sono in [m, kN, deg] ove non espressamente specificato.

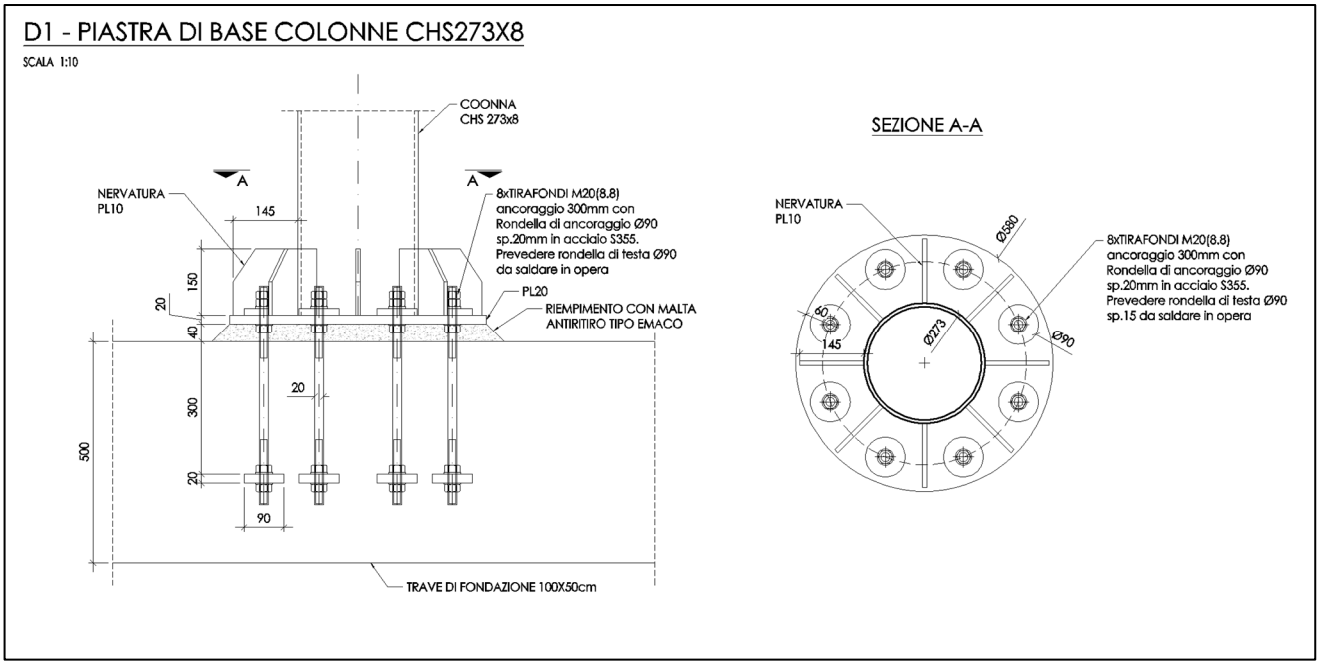
N°: *indice progressivo della sezione.*
Descrizione: *descrizione della sezione.*
Tipo: *tipo di sezione.*
Base: *base della sezione. [m]*
Altezza: *altezza della sezione. [m]*
Copriferro sup.: *distanza del bordo della staffa dalla superficie superiore del getto. [m]*
Copriferro inf.: *distanza del bordo della staffa dalla superficie inferiore del getto. [m]*
Copriferro lat.: *distanza del bordo della staffa dalle superfici laterali del getto. [m]*
x: *distanza da asse appoggio sinistro. [m]*
A sup.: *area efficace di armatura longitudinale superiore. [m²]*
C.b. sup.: *distanza dal bordo del baricentro dell'armatura longitudinale superiore. [m]*
A inf.: *area efficace di armatura longitudinale inferiore. [m²]*
C.b. inf.: *distanza dal bordo del baricentro dell'armatura longitudinale inferiore. [m]*
M+ela: *momento flettente desunto dal solutore che tende le fibre inferiori. [kN·m]*
Comb.: *combinazione.*
M+des: *momento flettente di progetto che tende le fibre inferiori. [kN·m]*
M+ult: *momento ultimo per trazione delle fibre inferiori. [kN·m]*
x/d: *rapporto tra posizione asse neutro e altezza utile.*
coeff: *coefficiente di sicurezza.*
M-ela: *momento flettente desunto dal solutore che tende le fibre superiori. [kN·m]*
M-des: *momento flettente di progetto che tende le fibre superiori. [kN·m]*
M-ult: *momento ultimo per trazione delle fibre superiori. [kN·m]*
Verifica: *stato di verifica.*
A st: *area di staffe per unità di lunghezza. [m²]*
A sl: *area di armatura longitudinale tesa per valutazione resistenza taglio in assenza di armature a taglio. [m²]*
A sag: *area equivalente di barre piegate per unità di lunghezza. [m²]*
Vela: *taglio elastico. [kN]*
Vdes: *taglio di progetto. [kN]*
Vrd: *resistenza a taglio della sezione senza armature. [kN]*
Vrcd: *sforzo di taglio che produce il cedimento delle bielle. [kN]*
Vrsd: *resistenza a taglio per la presenza delle armature. [kN]*
Vult: *taglio ultimo. [kN]*
cotgθ: *cotg dell'angolo di inclinazione dei puntoni in calcestruzzo.*
Rara: *famiglia di combinazione di verifica.*
Mela: *momento elastico. [kN·m]*
Mdes: *momento di progetto. [kN·m]*

σ c: *tensione di compressione nel calcestruzzo. [kN/m²]*
σ c lim.: *tensione limite di compressione nel calcestruzzo. [kN/m²]*
σ f.: *tensione di trazione nell'acciaio. [kN/m²]*
σ f lim.: *tensione limite di trazione nell'acciaio. [kN/m²]*
Quasi permanente: *famiglia di combinazione di verifica.*
σ FRP: *tensione di trazione nell'FRP. [kN/m²]*
σ FRP lim.: *tensione limite di trazione nell'FRP. [kN/m²]*
Size X: *misura dell'impronta al suolo lungo X. [m]*
Size Y: *misura dell'impronta al suolo lungo Y. [m]*
Sis.: *indicazione combinazione sismica.*
Cnd: *indicazione condizione di carico (BT breve termine o LT lungo termine).*
Fx: *componente orizzontale del carico lungo x. [kN]*
Fy: *componente orizzontale del carico lungo y. [kN]*
Fz: *componente verticale del carico. [kN]*
IncX: *inclinazione del carico lungo x. [deg]*
IncY: *inclinazione del carico lungo y. [deg]*
Phi: *angolo di attrito di progetto. [deg]*
Ad: *adesione di progetto. [kN/m²]*
RPl: *resistenza passiva laterale unitaria di progetto. [kN/m]*
γR: *coefficiente parziale sulla resistenza di progetto.*
Rd: *resistenza di progetto. [kN]*
Ed: *azione di progetto. [kN]*
Rd/Ed: *coefficiente di sicurezza allo scorrimento.*
Aste: *numero delle aste del tratto in verifica.*
Size X: *misura dell'impronta al suolo lungo la direzione X locale. [m]*
Size Y: *misura dell'impronta al suolo lungo la direzione Y locale. [m]*
Comb: *combinazione.*
Type: *indicazione del tipo di combinazione statica o sismica.*
Cnd: *resistenza valutata per condizione a breve o lungo termine (BT - LT).*
Rd/Ed: *coefficiente di sicurezza alla capacità portante.*
Mx: *momento risultante agente attorno x. [kN·m]*
My: *momento risultante agente attorno y. [kN·m]*
Inc.x: *inclinazione del carico lungo x. [deg]*
Inc.y: *inclinazione del carico lungo y. [deg]*
Ecc.x: *eccentricità del carico lungo x. [m]*
Ecc.y: *eccentricità del carico lungo y. [m]*
B': *larghezza efficace. [m]*
L': *lunghezza efficace. [m]*
qd: *sovraccarico di progetto. [kN/m²]*
γs: *peso specifico di progetto del suolo. [kN/m³]*
Fi: *angolo di attrito di progetto. [deg]*
Coes: *coesione di progetto. [kN/m²]*
Amax: *accelerazione normalizzata max al suolo.*
N:
Nq: *fattore di capacità portante per il termine di sovraccarico.*
Nc: *fattore di capacità portante per il termine coesivo.*
Ng: *fattore di capacità portante per il termine attritivo.*
S:
Sq: *fattore correttivo di capacità portante per forma (shape), per il termine di sovraccarico.*
Sc: *fattore correttivo di capacità portante per forma (shape), per il termine coesivo.*
Sg: *fattore correttivo di capacità portante per forma (shape), per il termine attritivo.*
D:
Dq: *fattore correttivo di capacità portante per approfondimento (deep), per il termine di sovraccarico.*
Dc: *fattore correttivo di capacità portante per approfondimento (deep), per il termine coesivo.*
Dg: *fattore correttivo di capacità portante per approfondimento (deep), per il termine attritivo.*
I:
Iq: *fattore correttivo di capacità portante per inclinazione del carico, per il termine di sovraccarico.*
Ic: *fattore correttivo di capacità portante per inclinazione del carico, per il termine coesivo.*
Ig: *fattore correttivo di capacità portante per inclinazione del carico, per il termine attritivo.*
B:
Bq: *fattore correttivo di capacità portante per inclinazione della base, per il termine di sovraccarico.*
Bc: *fattore correttivo di capacità portante per inclinazione della base, per il termine coesivo.*
Bg: *fattore correttivo di capacità portante per inclinazione della base, per il termine attritivo.*
G:
Gq: *fattore correttivo di capacità portante per inclinazione del pendio, per il termine di sovraccarico.*
Gc: *fattore correttivo di capacità portante per inclinazione del pendio, per il termine coesivo.*
Gg: *fattore correttivo di capacità portante per inclinazione del pendio, per il termine attritivo.*
P:
Pq: *fattore correttivo di capacità portante per punzonamento, per il termine di sovraccarico.*
Pc: *fattore correttivo di capacità portante per punzonamento, per il termine coesivo.*
Pg: *fattore correttivo di capacità portante per punzonamento, per il termine attritivo.*
E:
Eq: *fattore correttivo di capacità portante per sisma (earthquake), per il termine di sovraccarico.*
Ec: *fattore correttivo di capacità portante per sisma (earthquake), per il termine coesivo.*
Eg: *fattore correttivo di capacità portante per sisma (earthquake), per il termine attritivo.*
σ min.: *pressione minima. [kN/m²]*
σ lim.: *pressione limite. [kN/m²]*
Coeff. sic.: *coefficiente di sicurezza.*

13. VERIFICA DELLE CONNESSIONI

13.1. D1 – Piastra di base colonna CHS273x8

Si riporta in seguito la verifica della connessione D1 – PIASTRA DI BASE COLONNA CHS273x8.
La connessione è quella riportata nell'immagine di seguito:



Connessione D1 – Piastra di base colonna CHS273x8

Per la verifica vengono utilizzate le sollecitazioni massime registrate sulle colonne da analisi FEM.
Le sollecitazioni utilizzate fanno riferimento ad un inviluppo delle sollecitazioni e pertanto rappresentano dei massimi non concomitanti (ipotesi a favore di sicurezza).

Di seguito si riporta un estratto del foglio di calcolo utilizzato per la verifica:

PIASTRA DI BASE TRAVE-H - UNI EN 1993-1-8:2005 (EC3)

ELEMENTO : **SAC01_07_PB1**

Normativa			
Coefficienti parziali di sicurezza			
coefficiente	γ_{M0} =	**1.05**	
coefficiente	γ_{M1} =	**1.05**	
coefficiente	γ_{M2} =	**1.25**	
coefficiente	γ_c =	**1.50**	
Materiali			
Colonna			
tipo di acciaio		**S275**	
tipo di trattamento		**flat**	
tensione di snervamento	$f_{yk,c}$ =	275	*N/mm²*
tensione di rottura	$f_{u,c}$ =	410	*N/mm²*
Piastra di base			
tipo d'acciaio - piastra		**S275**	
tensione di snervamento - piastra	$f_{yk,bp}$ =	265	*N/mm²*
tensione di rottura - piastra	$f_{u,bp}$ =	410	*N/mm²*
tipo d'acciaio - rinforzo 1		**-**	
tensione di snervamento - rinforzo 1	$f_{yk,s1}$ =	-	*N/mm²*
tensione di rottura - rinforzo 1	$f_{u,s1}$ =	-	*N/mm²*
tipo d'acciaio - rinforzo 2		**-**	
tensione di snervamento - rinforzo 2	$f_{yk,s2}$ =	-	*N/mm²*
tensione di rottura - rinforzo 2	$f_{u,s2}$ =	-	*N/mm²*
tipo d'acciaio - rinforzo 3		**-**	
tensione di snervamento - rinforzo 3	$f_{yk,s3}$ =	-	*N/mm²*
tensione di rottura - rinforzo 3	$f_{u,s3}$ =	-	*N/mm²*
Tirafondi			
tipo di acciaio		**8.8**	
tensione di snervamento	$f_{yk,b}$ =	640	*N/mm²*
tensione di rottura	$f_{u,b}$ =	800	*N/mm²*
tipo d'acciaio rondella (per la tipologia c)		**S355**	
tensione di snervamento rondella (per la tipologia c)	$f_{yk,w}$ =	345	*N/mm²*
tensione di rottura rondella (per la tipologia c)	$f_{u,w}$ =	470	*N/mm²*
Chiave di taglio			
tipo di acciaio		**-**	
tipo di trattamento		**flat**	
tensione di snervamento	$f_{yk,sk}$ =	-	*N/mm²*
tensione di rottura	$f_{u,sk}$ =	-	*N/mm²*
Calcestruzzo			
Classe del cemento		**(32)/40**	
res. caratteristica a compressione cubica	R_{ck} =	40	*N/mm²*
res. caratteristica a compressione cilindrica	f_{ck} =	32	*N/mm²*
modulo d'elasticità	E =	36050	*N/mm²*
res. calcolo a compressione cilindrica	$f_{cd} = 0.85 \cdot f_{ck}/\gamma_c$ =	18.1	*N/mm²*
res. caratteristica a trazione	f_{ctk} =	2.12	*N/mm²*
res. di calcolo a trazione	$f_{ctd} = f_{ctk}/\gamma_c$ =	1.41	*N/mm²*
coefficiente per il diametro delle barre	η =	1.00	
resistenza tangenziale di aderenza di progetto	$f_{bd} = 2.25 \cdot \eta \cdot f_{ctd}$ =	3.18	*N/mm²*

Geometria

Colonna

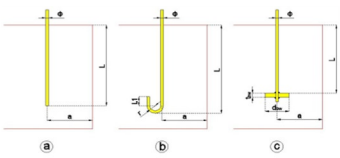
ID profilo	ID =	**W**	
Diametro esterno	D =	**273**	*mm*
Spessore	t_w =	**8**	*mm*

Piastra di base

Spessore della piastra	t_p =	**20**	*mm*
Larghezza z	b_p =	**580**	*mm*
Larghezza y	h_p =	**580**	*mm*
spessore del rinforzo 1	t_{s1} =	**-**	*mm*
spessore del rinforzo 2	t_{s2} =	**-**	*mm*
spessore del rinforzo 3	t_{s3} =	**-**	*mm*

Tirafondi

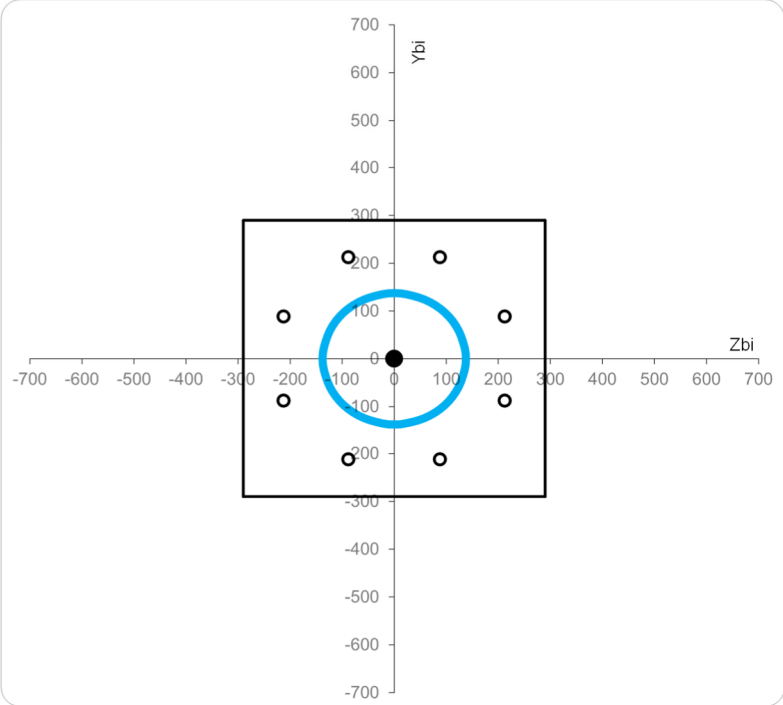
diametro dei tirafondi	Ø =	**20**	*mm*
distanza minima tirafondo - irrigidimenti / bordi		**2.0**	Ø = 40 *mm*
sezione grezza dei tirafondi	A =	314	mm^2
sezione resistente dei tirafondi	A_{res} =	236	mm^2
tipo d'ancoraggio		**c)**	
lunghezza dell'ancora dei tirafondi	L =	**300**	*mm*
raggio dell'aggancio (per la tipologia b)	r =	**-**	*mm*
lunghezza d'estremità del gancio (per la tipologia b)	L_1 =	**-**	*mm*
diametro rondella d'ancoraggio (per la tipologia c)	d_{bw} =	**90**	*mm*
spessore rondella d'ancoraggio (per la tipologia c)	t_{bw} =	**20**	*mm*



disposizione dei tirafondi

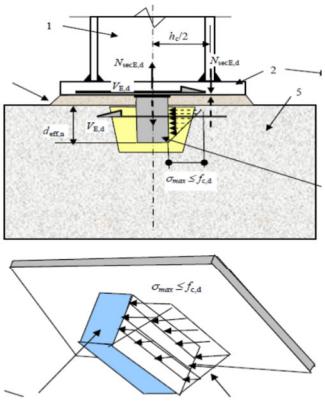
B	USER z_{Bi} [mm]	USER y_{Bi} [mm]
1	-88	212
2	88	212
3	-212	88
4	-212	-88
5	-88	-212
6	88	-212
7	212	-88
8	212	88
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		

n° tot tirafondi 8



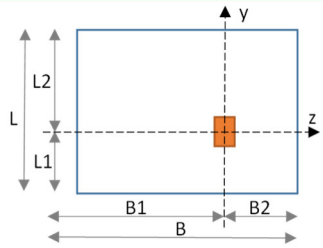
Chiave di taglio

ID profilo	ID =	-	
altezza	h =	-	*mm*
larghezza dell'ala	b =	-	*mm*
spessore dell'anima	t_w =	-	*mm*
spessore dell'ala	t_f =	-	*mm*
altezza netta dell'anima	h_w =	-	*mm*
area totale della sezione	A =	-	mm^2
area di taglio - asse Y.	A_y =	-	mm^2
area di taglio - asse Z.	A_z =	-	mm^2
momento di inerzia della sezione - asse Y.	J_y =	-	mm^4
momento di inerzia della sezione - asse Z.	J_z =	-	mm^4
modulo resistenza della sezione - asse Y.	W_y =	-	mm^3
modulo resistenza della sezione - asse Z.	W_z =	-	mm^3
Lunghezza della chiave di taglio	d_n =	-	*mm*
profondità effettiva (60mm ≤ deff, n ≤ 1,5 hn)	$d_{eff,n} = d_n - h_g$ =	-	*mm*
area di contatto con calcestruzzo per taglio Y	$A_{cls,Y} = d_{eff,n} \cdot b$ =	-	mm^2
area di contatto con calcestruzzo per taglio Z	$A_{cls,Z} = d_{eff,n} \cdot h_w$ =	-	mm^2



Fondazione in calcestruzzo

	B_1 =	1	*m*
	B_2 =	1	*m*
Larghezza della fondazione	B =	2	*m*
	L_1 =	1	*m*
	L_2 =	1	*m*
Altezza della fondazione	L =	2	*m*
Altezza della malta sigillante	h_g =	50	*mm*



Carichi

Forze sulla flangia

set di carichi		USER	
sforzo assiale - asse X	F_x =	162	*kN*
sforzo di taglio - asse Y	F_y =	24	*kN*
sforzo di taglio - asse Z	F_z =	24	*kN*
momento flettente - asse Y	M_y =	0	*kNm*
momento flettente - asse Z	M_z =	43	*kNm*

Sforzi sui tirafondi

B	$F_{b,x}$ [kN]	$F_{b,y}$ [kN]	$F_{b,z}$ [kN]	$F_{b,yz}$ [kN]	$\sigma_{b,x}$ [N/mm^2]
1	96	3	3	4	**305**
2	87	3	3	4	**277**
3	68	3	3	4	**215**
4	47	3	3	4	**149**
5	19	3	3	4	**61**
6	0	3	3	4	**-5**
7	0	3	3	4	**-94**
8	0	3	3	4	**-67**
9	-	-	-	-	**0**
10	-	-	-	-	**0**
11	-	-	-	-	**0**
12	-	-	-	-	**0**
13	-	-	-	-	**0**
14	-	-	-	-	**0**
15	-	-	-	-	**0**
16	-	-	-	-	**0**
17	-	-	-	-	**0**
18	-	-	-	-	**0**
19	-	-	-	-	**0**
20	-	-	-	-	**0**
21	-	-	-	-	**0**
22	-	-	-	-	**0**
MAX	**96**	**3**	**3**	**4**	**305.0**

Compressione sul calcestruzzo

Massima compressione sul calcestruzzo $\sigma_{x,cls,min}$ = **10.2** *N/mm²*

Verifiche

Piastra di base

T-Stub

Determinazione della lunghezza efficace dell'elemento a T equivalente **USER**

B	L_{eff}	m	e	n	$M_{pl,Rd}$	$F_{T,Rd1}$	$F_{T,Rd2}$	$F_{T,Rd}$	$F_{T,Ed}$	ratio
1	**300**	**100**	**60**	60	7571429	303	200	200	192	0.96
2	**300**	**100**	**60**	60	7571429	303	200	200	174	0.87
3	**300**	**100**	**60**	60	7571429	303	200	200	135	0.67
4	**300**	**100**	**60**	60	7571429	303	200	200	94	0.47
5	**300**	**100**	**60**	60	7571429	303	200	200	38	0.19
6	**300**	**100**	**60**	60	7571429	303	200	200	0	0.00
7	**300**	**100**	**60**	60	7571429	303	200	200	0	0.00
8	**300**	**100**	**60**	60	7571429	303	200	200	0	0.00
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
MAX								*ratio:*	*0.96*	**OK**

Tirafondi

Resistenza dei tirafondi

forza di taglio $F_{V,Sd} = F_{b,yz,max}$ = 4 kN

forza nominale di trazione (* solo se positiva) $F_{N,Sd} = F_{b,x,max}$ * = 96 kN

resistenza al taglio $F_{V,Rd}$ = 94 *kN*

resistenza alla trazione $F_{N,Rd}$ = 141 kN

$F_{V,Sd} \leq F_{V,Rd}$	→	**4** *kN*	<	**94** *kN*	*ratio:*	*0.05*	**OK**
$F_{N,Sd} \leq F_{N,Rd}$	→	**96** *kN*	<	**141** *kN*	*ratio:*	*0.68*	**OK**
$F_{V,Sd}/F_{V,Rd} + F_{N,Sd}/(1.4F_{N,Rd}) \leq 1$	→	**0.53**	<	**1.0**	*ratio:*	*0.53*	**OK**

Estrazione dei tirafondi

res. estrazione (a) $N_{e,Rd,a} = f_{bd} \cdot \pi \cdot Ø \cdot L$ = - *kN*

res. estrazione (b) $N_{e,Rd,b} = f_{bd} \cdot \pi \cdot Ø \cdot (L+6.4 \cdot r+3.5 \cdot L_1)$ = - *kN*

res. estrazione (c) $N_{e,Rd,c} = f_{cd} \cdot \pi \cdot (d_{bw}^2 - Ø^2)/4$ = 110 *kN*

res. Estrazione $N_{e,Rd}$ = 110 *kN*

$F_{b,x,max} \leq N_{e,Rd}$	→	**96** *kN*	<	**110** *kN*	*ratio:*	*0.87*	**OK**

Resistenza della rondella d'ancoraggio (solo per la tipologia d'ancoraggio c)

compressione locale sul calcestruzzo $\sigma_C = F_{b,x,max}/(\pi \cdot (d_{bw}^2 - Ø^2)/4)$ = 15.84 *N/mm²*

coefficiente di geometria (sulla base del rapporto dp/Ø) η = 3.06

forza sull'acciaio della rondella		$\sigma_S = \eta \cdot \sigma_c (d_{bw}/2t_{bw})^2 =$	246	*N/mm²*		
$\sigma_s \leq f_{yk}/\gamma_{M0}$		**246** *N/mm²*	<	**329** *N/mm²*	*ratio: 0.75*	**OK**

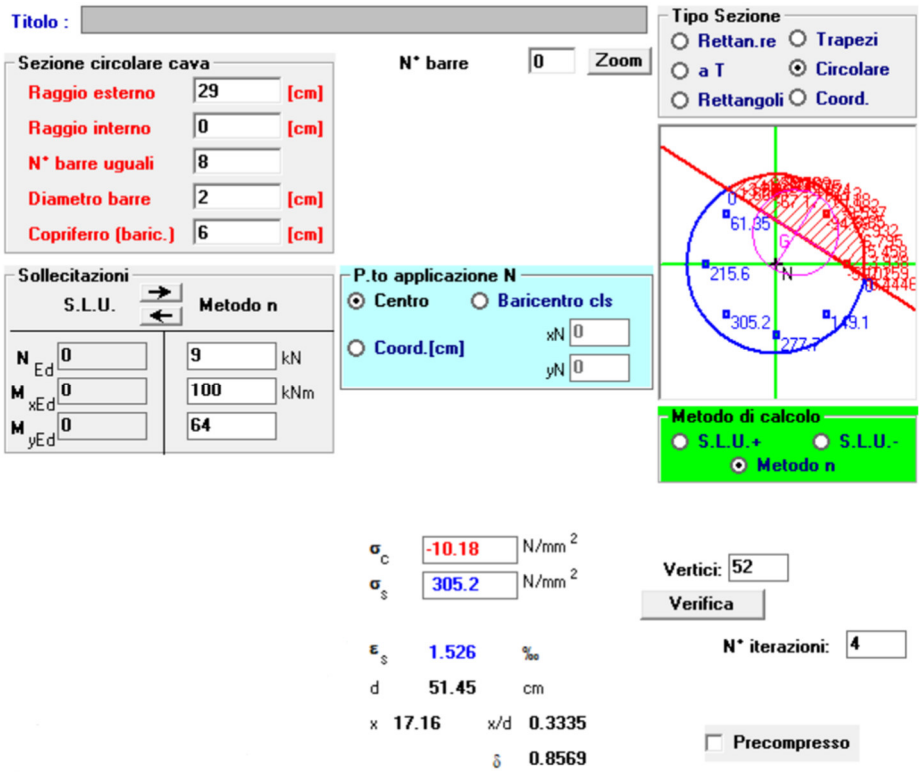
Chiave di taglio

Resistenza della chiave di taglio

massimo momento flettente - asse Y.		$M_{y,max} = V_{z,max} \cdot d_{eff,n} \cdot 2/3 =$	-	*kNm*		
massimo momento flettente - asse Z.		$M_{z,max} = V_{y,max} \cdot d_{eff,n} \cdot 2/3 =$	-	*kNm*		
tensioni tangenziali - dir Y		$\tau_{max,y} = V_y/A_y =$	-	*N/mm²*		
tensioni tangenziali - dir Z		$\tau_{max,z} = V_z/A_z =$	-	*N/mm²*		
tensione assiale - dir X		$\sigma_x = \lvert M_{y,max}\rvert/W_y + \lvert M_{z,max}\rvert/W_z =$	-	*N/mm²*		
tensione di Von Mises		$\sigma_{VM} = \sqrt{(\sigma_x^2+3(\tau_y^2+\tau_z^2))} =$	-	*N/mm²*		
$\sigma_{VM} \leq f_{yk}/\gamma_{M0}$	→	- *N/mm²*	-	- *N/mm²*	*ratio: -*	-

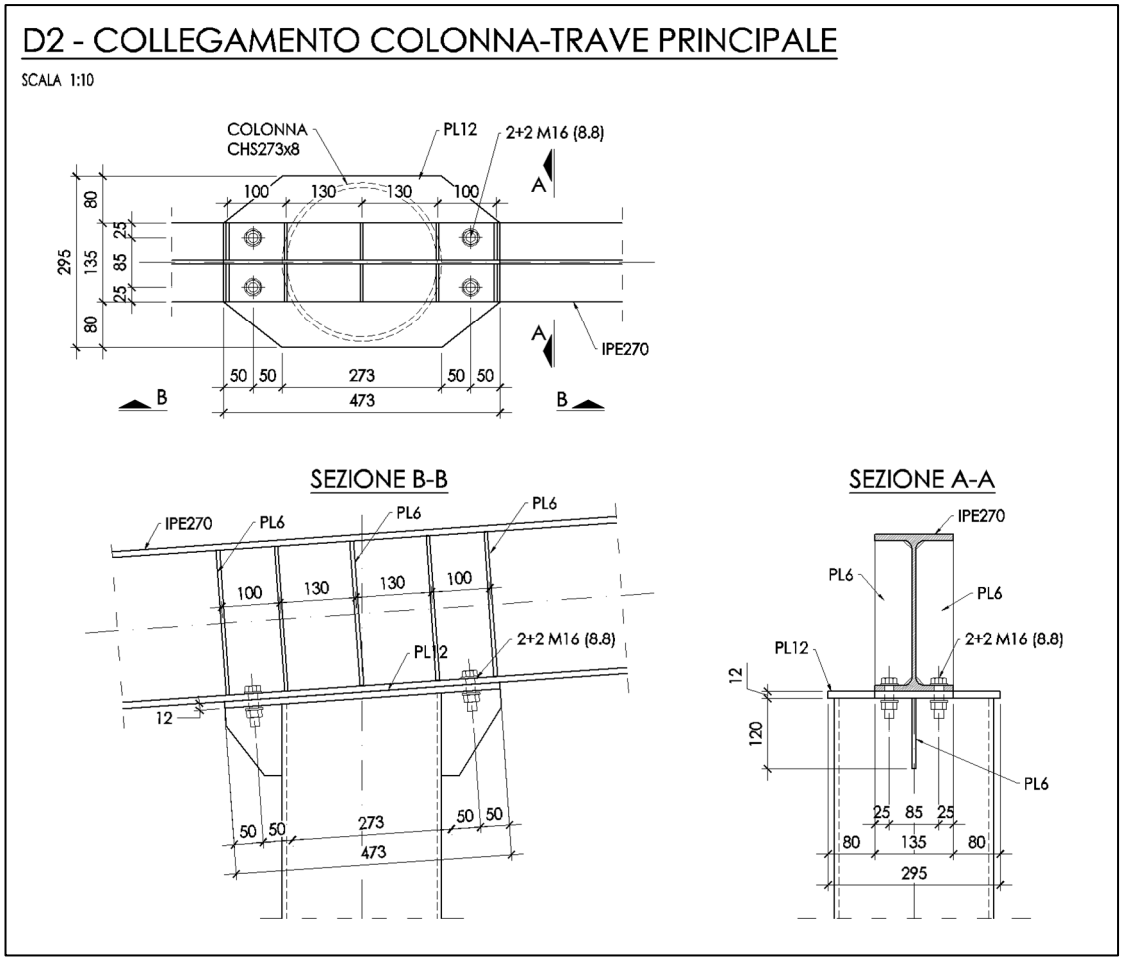
Contatto con il calcestruzzo

Compressione massima sul calcestruzzo dir Y		$\sigma_{y,cls} = 2 \cdot V_{y,max}/A_{cls,y} =$	-	*N/mm²*		
$\lvert\sigma_{y,cls}\rvert \leq f_{cd,loc}$	→	- *N/mm²*	-	- *N/mm²*	*ratio: -*	-
Compressione massima sul calcestruzzo - dir Z		$\sigma_{z,cls} = 2 \cdot V_{z,max}/A_{cls,z} =$	-	*N/mm²*		
$\lvert\sigma_{z,cls}\rvert \leq f_{cd,loc}$	→	- *N/mm²*	-	- *N/mm²*	*ratio: -*	-



13.2. D2 – Connessione colonna-trave principale

Si riporta in seguito la verifica della connessione D2 – CONNESSIONE COLONNA-TRAVE PRINCIPALE.
La connessione è quella riportata nell'immagine di seguito:



Connessione D2 – Connessione colonna-trave principale

Per la verifica vengono utilizzate le sollecitazioni massime registrate sulle colonne da analisi FEM.
Le sollecitazioni utilizzate fanno riferimento ad un inviluppo delle sollecitazioni e pertanto rappresentano dei massimi non concomitanti (ipotesi a favore di sicurezza).

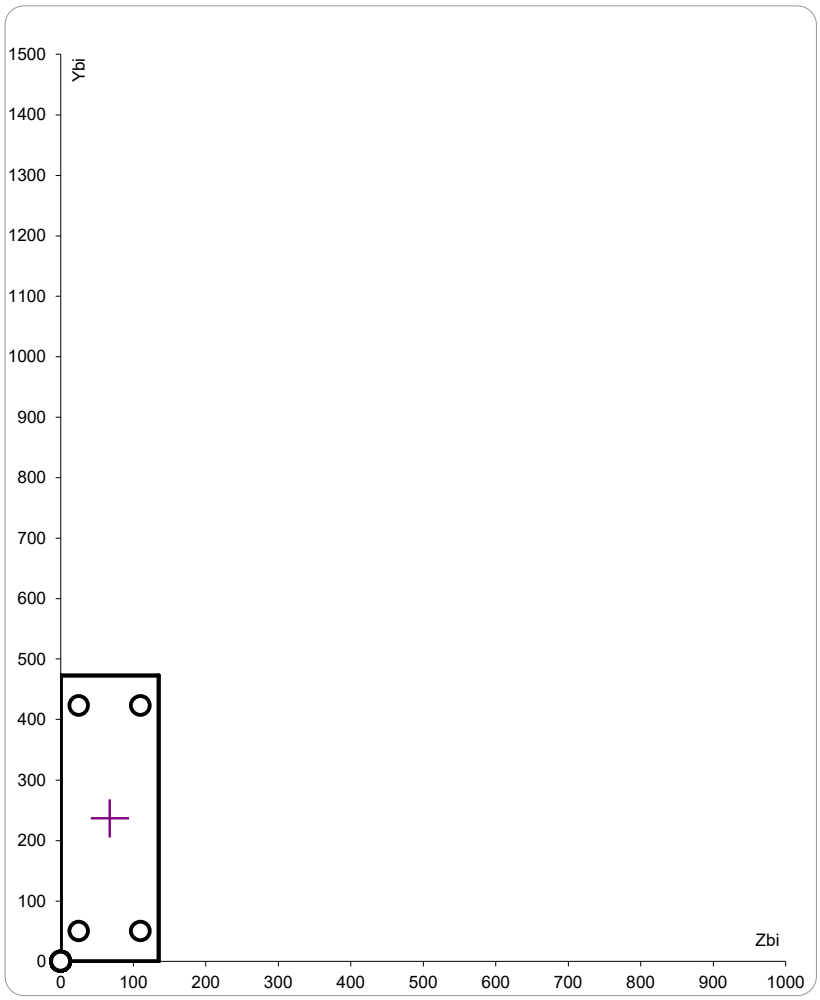
Di seguito si riporta un estratto del foglio di calcolo utilizzato per la verifica:

CONNESSIONE A FLANGIA - UNI EN 1993-1-8:2005 (EC3)

ELEMENTO : CHS273

Normativa			
Coefficienti parziali di sicurezza			
coefficiente	γ_{M0} =	**1.00**	
coefficiente	γ_{M2} =	**1.25**	
Materiali			
Flangia			
tipo di acciaio		**S355**	
tensione di snervamento	f_{yk} =	355	*N/mm²*
tensione di rottura	f_u =	470	*N/mm²*
Bolts			
classe bulloni		**8.8**	
tensione di snervamento	$f_{y,b}$ =	640	*N/mm²*
tensione di rottura	$f_{u,b}$ =	800	*N/mm²*
taglio sulla parte filettata del bullone:		**Y**	
Geometria			
Flangia			
spessore della flangia	t_f =	**12**	*mm*
larghezza della flangia	b_f =	**135**	*mm*
altezza della flangia	h_f =	**473**	*mm*
spessore del piatto di rinforzo (*0 se assente)*	t_{bp} =	**0**	*mm*
Bulloni			
bulloni		**M16**	
diametro dei bulloni	d_b =	16	*mm*
diametro dei fori	d_0 =	18	*mm*
distanza dal bordo - dir. Y	e_1 =	50	*mm*
interasse - dir. Y	p_1 =	373	*mm*
distanza dal bordo - dir. Z	e_2 =	25	*mm*
interasse - dir. Z	p_2 =	0	*mm*

	z_{Bi} [mm]	y_{Bi} [mm]
B1	**110**	**50**
B2	**110**	**423**
B3	**25**	**50**
B4	**25**	**423**
B5	-	-
B6	-	-
B7	-	-
B8	-	-
B9	-	-
B10	-	-
B11	-	-
B12	-	-
B13	-	-
B14	-	-
B15	-	-
B16	-	-
B17	-	-
B18	-	-
B19	-	-
B20	-	-
B21	-	-
B22	-	-
B23	-	-
B24	-	-
B25	-	-
B26	-	-
B27	-	-
B28	-	-
B29	-	-
B30	-	-
B31	-	-
B32	-	-
B33	-	-
B34	-	-
B35	-	-
B36	-	-
B37	-	-
B38	-	-
B39	-	-
B40	-	-
B41	-	-
B42	-	-
B43	-	-
B44	-	-
B45	-	-
B46	-	-
B47	-	-
B48	-	-
B49	-	-
B50	-	-



numero totale di bulloni	n_b =	4	
CDG - coord. Z	$z_G = \Sigma z_{Bi}/n_b$ =	68	*mm*
CDG - coord. Y	$y_G = \Sigma y_{Bi}/n_b$ =	237	*mm*
momento di inerzia polare	$J_{p,b} = \Sigma\ [(z_G-z_{Bi})^2+(y_G-y_{Bi})^2]$ =	1.46E+05	mm^2
momento di inerzia - asse Z	$J_{z,b} = \Sigma\ (y_{Bi}-n_y)^2$ =	2.78E+05	mm^2
momento di inerzia - asse Y	$J_{y,b} = \Sigma\ (z_{Bi}-n_z)^2$ =	1.45E+04	mm^2
posizione dell'asse neutro: sui bulloni di bordo		**3**	
asse del bordo compresso - // Y	n_z =	25	*mm*
asse del bordo compresso - // Z	n_y =	50	*mm*

Carichi

Forze sulla flangia

set di carichi		**USER**	
sforzo assiale - asse X	F_x =	**0**	*kN*
sforzo di taglio - asse Y	F_y =	**0**	*kN*
sforzo di taglio - asse Z	F_z =	**0**	*kN*
torsione - asse X	M_x =	**0**	*kNm*
momento flettente - asse Y	M_y =	**0**	*kNm*
momento flettente - asse Z	M_z =	**54**	*kNm*

Forze sui bulloni

forza max - dir. Z	$R_{zi,max} = \max [F_z/n_b+M_x/J_{p,b}\|(y_G-y_{Bi})\|]$ =	0	*kN*
forza max - dir. Y	$R_{yi,max} = \max [F_y/n_b+M_x/J_p\|(z_G-z_{Bi})\|]$ =	0	*kN*
forza max - piano ZY	$R_{zy,max} = \sqrt{(R_{z,max}^2+R_{y,max}^2)}$ =	0	*kN*
forza max - dir. X	$R_{x,max} = \max [F_{x,max}/n_b+M_z/J_z(y_{Bi}-n_y)+M_y/J_y (z_{Bi}-n_z)]$ =	72	*kN*

Verifiche

Bulloni

forza di taglio di calcolo	$F_{V,Sd} = R_{zy,max}$ =	0	kN
forza di trazione di calcolo (*solo se positiva)	$F_{N,Sd} = R_{x,max}$ * =	72	kN
resistenza a taglio di progetto	$F_{V,Rd}$ =	60	*kN*
resistenza a trazione di progetto	$F_{N,Rd}$ =	90	kN

$F_{V,Sd} \leq F_{V,Rd}$	→	**0** *kN*	<	**60** *kN*	*ratio: 0.00*	**OK**
$F_{N,Sd} \leq F_{N,Rd}$	→	**72** *kN*	<	**90** *kN*	*ratio: 0.80*	**OK**
$F_{V,Sd}/F_{V,Rd} + F_{N,Sd}/(1.4F_{N,Rd}) \leq 1$	→	**0.57**	<	**1.0**	*ratio: 0.57*	**OK**

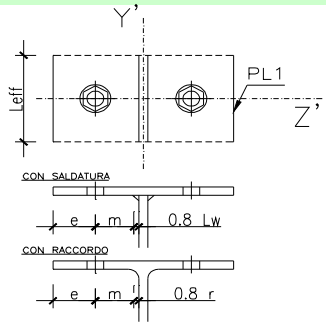
Flangia - Rifollamento

carico di progetto per il rifollamento	$F_{b,Sd} = R_{zy,max}$ =	0	kN
coeff. - bulloni bordo dir. //	$\alpha_{d,edge} = e_1/(3\ d_0)$ =	0.93	
coeff. - bulloni interni dir. //	$\alpha_{d,inn} = p_1/(3\ d_0)-0.25$ =	6.66	
coeff. - dir. //	$\alpha_b = \min(\alpha_{d,inner}\ ;\ \alpha_{d,edge}\ ;\ f_{ub}/f_u\ ;\ 1)$ =	0.93	
coeff. - bulloni bordo dir. ⊥	$k_{inner} = \min(2.8\ e_2/d_0-1.7\ ;\ 2.5)$ =	2.19	
coeff. - bulloni interni dir. ⊥	$k_{edge} = \min(1.4\ p_2/d_0-1.7\ ;\ 2.5)$ =	-1.70	
coeff. - dir. ⊥	$k = \min(k_{edge}\ ;\ k_{inner})$ =	-1.70	
resistenza di progetto a rifollamento	$F_{b,Rd} = k\ \alpha_b\ f_u\ d_b\ t_f/\gamma_{M2}$ =	-113.6	kN

$F_{b,Sd} \leq F_{b,Rd}$	→	**0** *kN*	>	**-114** *kN*	*ratio: 0.00*	**OK**

Flangia - Resistenza (T-Stub)

forza di progetto a trazione sui due bulloni del T	$F_{N,Sd} = 2 \cdot R_{x,max}$ =	145	*kN*
lunghezza Efficace elemento a T equivalente	L_{eff} =	**202**	*mm*
distanza ridotta del bullone dalla costola	m =	**40**	*mm*
distanza minima del bullone dal bordo	e =	**30**	*mm*
distanza di calcolo del bullone dal bordo	n =	30	*mm*
momento plastico resistente del T equivalemte	$M_{pl,Rd} = 0.25 \cdot L_{eff} t_f^2 f_{yk}/\gamma_{M0}$ =	2.58E+06	*Nmm*
momento plastico resistente del piatto di rinforzo	$M_{bp,Rd} = 0.25 \cdot L_{eff} t_{bp}^2 f_{yk}/\gamma_{M0}$ =	0.00E+00	*Nmm*
meccanismo plastico completo dell'ala	$F_{T,Rd1} = (4 \cdot M_{pl,Rd}+2 \cdot M_{bp,Rd})/m$ =	258	*kN*
snervamento dell'ala	$F_{T,Rd2} = (2 \cdot M_{pl,Rd}+nF_{t,Rd})/(m+n)$ =	151	*kN*
rottura dei buloni	$F_{T,Rd3} = 2 \cdot F_{t,Rd}$ =	181	*kN*
resistenza di calcolo del T-stub	$F_{T,Rd} = \min(F_{T,Rd1}\ ;\ F_{T,Rd2}\ ;\ F_{T,Rd3})$ =	151	*kN*



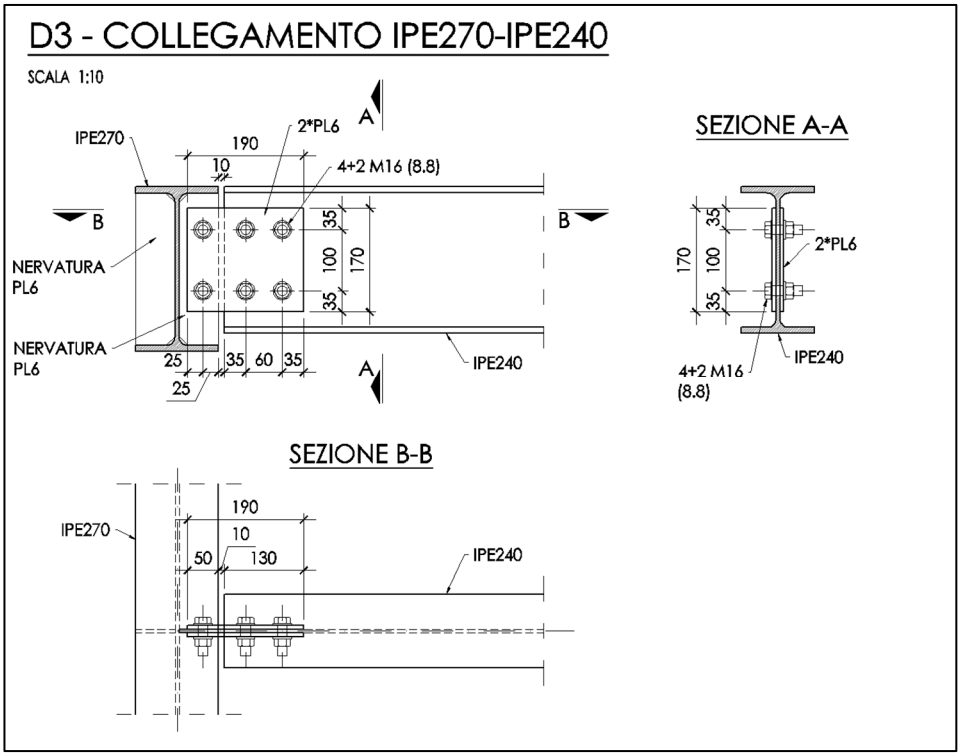
$F_{N,Sd} \leq F_{t,Rd}$	→	**145** *kN*	<	**151** *kN*	*ratio: 0.96*	**OK**

Riassunto delle verifiche

BOLTS	shear	0.00
	traction	0.80
	combined shear-traction	0.57
FLANGE	bearing	0.00
	T-Stub	0.96
MAX		**0.96**

13.3. D3 – Connessione IPE270-IPE240

Si riporta in seguito la verifica della connessione D3 – CONNESSIONE IPE270-IPE240.
La connessione è quella riportata nell'immagine di seguito:



Connessione D3 – Connessione IPE270-IPE240

Per la verifica vengono utilizzate le sollecitazioni massime registrate sulle colonne da analisi FEM.
Le sollecitazioni utilizzate fanno riferimento ad un inviluppo delle sollecitazioni e pertanto rappresentano dei massimi non concomitanti (ipotesi a favore di sicurezza).

Di seguito si riporta un estratto del foglio di calcolo utilizzato per la verifica:

EC3 - POUTRE H - JOINT ARTICULÉ - ÈCLISSES

ELÉMÉNT : IPE240

Réglementation			
Coefficients partiels de sécurité			
coefficient	γ_{M0} =	**1.05**	
coefficient	γ_{M2} =	**1.25**	
Materiaux			
Poutre			
nuance d'acier -aile - poutre		**S275**	
tension de elasticité - aile - poutre	$f_{yk,f,1}$ =	275	N/mm^2
tension de rupture - aile - poutre	$f_{u,f,1}$ =	430	N/mm^2
tension de elasticité - âme - poutre	$f_{yk,w,1}$ =	275	N/mm^2
tension de rupture - âme - poutre	$f_{u,w,1}$ =	430	N/mm^2
Plaque de noeud			
nuance d'acier - plaque de noeud		**S275**	
tension de elasticité - plaque de noeud	$f_{yk,np}$ =	275	N/mm^2
tension de rupture - plaque de noeud	$f_{u,np}$ =	410	N/mm^2
Éclisses			
nuance d'acier - éclisse		**S275**	
tension de elasticité - éclisse	$f_{yk,sp,w}$ =	275	N/mm^2
tension de rupture - éclisse	$f_{u,sp,w}$ =	410	N/mm^2
Boulons			
classe de boulons		**8.8**	
tension de elasticité	$f_{y,b}$ =	640	N/mm^2
tension de rupture	$f_{u,b}$ =	800	N/mm^2
categorie de la connexion: connexion à cisellement		**A**	
type de trou: standard		**1**	
coéfficient pour le type de trous	k_s =	1.00	
classe de la surface de frottement		**B**	
coéfficient de frottement	μ =	0.40	
cisellement sur la portion de boulon fileté: non		**Y**	
Géométrie			
Géneral			
écart du joint - dir. X	s_x =	**10**	*mm*
eccentricité de la rotule théorique - dir. X	e_x =	**100**	*mm*
Boulons - Côté noeud			
type de boulon		**M16**	
dyamètre du boulon	$d_{b,n}$ =	16	*mm*
dyamètre du trou	$d_{0,n}$ =	18	*mm*
files de boulons	$n_{rb,n}$ =	**2**	
colonnes de boulons	$n_{cb,n}$ =	**1**	
nombre total de boulons	$n_{b,n}$ =	2	
rangement des boulons		**Standard**	
distance du bord - dir. X	$e_{1,n}$ =	**25**	*mm*
entreaxe - dir. X	$p_{1,n}$ =	**60**	*mm*
distance du bord - dir. Y	$e_{2,n}$ =	**35**	*mm*
entreaxe - dir. Y	$p_{2,n}$ =	**100**	*mm*
excentricité additionale boulonage - dir. X	$e'_{1,n}$ =	**0**	*mm*
excentricité du centre de gravité du boulonage - dir. X	$e_{x,n}$ =	100	*mm*
bras du levier des bolulons dans l'éclisse - dir. Y	$b_{y,sp,n}$ =	100	*mm*
bras du levier des bolulons dans l'éclisse - dir. X	$b_{x,sp,n}$ =	0	*mm*
somme de les carrès de les distances du centre de gravité	Σ_{xy}^2 =	5000	mm^2
longueur du boulonage - dir. X	$L_{j,n}$ =	0	*mm*
coefficient de reduction pour longues joints	$\beta_{Lf,n}$ =	1.00	
epaisseur de paquet de cales lamellaires	$t_{p,n,max}$ =	0	*mm*
coefficient de reduction pour paquet de cales	$\beta_{p,n}$ =	1.00	
nombre de sections résistantes	$n_{T,n}$ =	**2**	

Boulons - Côté poutre			
type de boulon		**M16**	
dyamètre du boulon	$d_{b,b}$ =	16	*mm*
dyamètre du trou	$d_{0,b}$ =	18	*mm*
files de boulons	$n_{rb,b}$ =	**2**	
colonnes de boulons	$n_{cb,b}$ =	**2**	
nombre total de boulons	$n_{b,b}$ =	4	
rangement des boulons		**Standard**	
distance du bord - dir. X	$e_{1,b}$ =	**25**	*mm*
entreaxe - dir. X	$p_{1,b}$ =	**60**	*mm*
distance du bord - dir. Y	$e_{2,b}$ =	**35**	*mm*
entreaxe - dir. Y	$p_{2,b}$ =	**100**	*mm*
excentricité additionale boulonage - dir. X	$e'_{1,b}$ =	**0**	*mm*
excentricité du centre de gravité du boulonage - dir. X	$e_{x,b}$ =	190	*mm*
bras du levier des bolulons dans l'éclisse - dir. Y	$b_{y,sp,b}$ =	100	*mm*
bras du levier des bolulons dans l'éclisse - dir. X	$b_{x,sp,b}$ =	60	*mm*
somme de les carrès de les distances du centre de gravité	Σ_{xy}^2 =	6800	mm^2
longueur du boulonage - dir. X	$L_{j,b}$ =	60	*mm*
coefficient de reduction pour longues joints	$\beta_{Lf,b}$ =	1.00	
epaisseur de paquet de cales lamellaires	$t_{p,b,max}$ =	0	*mm*
coefficient de reduction pour paquet de cales	$\beta_{p,b}$ =	1.00	
nombre de sections résistantes	$n_{T,b}$ =	**2**	
Poutre			
ID de la poutre	ID =	**IPE 240**	
type : soudé		**Hot Rolled**	
hauteur	h =	**240**	*mm*
largueur de l'aile	b =	**120**	*mm*
epaisseur de l'âme	t_w =	**6**	*mm*
epaisseur de l'aile	t_f =	**10**	*mm*
epaisseur reinforcement d'aile - exterieur	$t_{re,f,ext}$ =	**0**	*mm*
largeur reinforcement d'aile - exterieur	$b_{re,f,ext}$ =	**0**	*mm*
epaisseur reinforcement d'aile - interieur	$t_{re,f,int}$ =	**0**	*mm*
largeur reinforcement d'aile - interieur	$b_{re,f,int}$ =	**0**	*mm*
epaisseur reinforcement d'âme	$t_{re,w}$ =	**0**	*mm*
hauteur reinforcement d'âme	$h_{re,w}$ =	**0**	*mm*
epaisseur cales lamellaires d'âme	$t_{p,w}$ =	0	*mm*
hauteur nette de l'âme	h_w =	220	*mm*
bras du levier entre les ailes	d_f =	230	*mm*
aire totale de la section	A =	3718	mm^2
aire totale de la section - nette	A_{net} =	3495	mm^2
aire de l'âme - brute	A_w =	1366	mm^2
aire de l'âme - nette	$A_{w,net}$ =	1143	mm^2
moment d'inertie de la poutre - axe Z	J_z =	3.67E+07	mm^4
moment d'inertie de la poutre - axe Z - nette	$J_{z,net}$ =	3.61E+07	mm^4
module de résistance de la poutre - axe Z	W_z =	3.06E+05	mm^3
module de résistance de la poutre - axe Z - net	$W_{z,net}$ =	3.01E+05	mm^3
Plaque de noeud			
epaisseur - plaque de noeud	t_{np} =	**6**	*mm*
hauteur - plaque de noeud	h_{np} =	**500**	*mm*
epaisseur reinforcement plaque de noeud	$t_{re,np}$ =	**0**	*mm*
hauteur reinforcement plaque de noeud	$h_{re,np}$ =	**0**	*mm*
epaisseur cales lamellaires plaque de noeud	$t_{p,np}$ =	**0**	*mm*
aire - plaque de noeud	A_{np} =	3000	mm^2
aire - plaque de noeud - nette	$A_{np,net}$ =	2784	mm^2
moment d'inertie de la plaque de noeud - axe Z	$J_{z,np}$ =	6.25E+07	mm^4
moment d'inertie de la plaque de noeud - axe Z - nette	$J_{z,np,net}$ =	6.20E+07	mm^4
module de résistance de la plaque de noeud - axe Z	$W_{z,np}$ =	2.50E+05	mm^3
module de résistance de la plaque de noeud - axe Z - net	$W_{z,np,net}$ =	2.48E+05	mm^3
Éclisses			
nombre de éclisses	n_{sp} =	**2**	

epaisseur éclisses	t_{sp} =	**6**	*mm*
Côté noeud			
hauteur - éclisses	$h_{sp,n}$ =	**170**	*mm*
aire brute - éclisses	$A_{sp,n}$ =	2040	mm^2
aire nette - éclisses	$A_{sp,n,net}$ =	1608	mm^2
moment d'inertie - eclisses - axe Z	$J_{z,sp,n}$ =	4.91E+06	mm^4
moment d'inertie - eclisses - axe Z - net	$J_{z,sp,n,net}$ =	3.82E+06	mm^4
module de résistance - eclisses - axe Z	$W_{z,sp,n}$ =	5.78E+04	mm^3
module de résistance - eclisses - axe Z - net	$W_{z,sp,n,net}$ =	4.50E+04	mm^3
Côté poutre			
hauteur - éclisses	$h_{sp,b}$ =	**170**	*mm*
aire brute - éclisses	$A_{sp,b}$ =	2040	mm^2
aire nette - éclisses	$A_{sp,b,net}$ =	1608	mm^2
moment d'inertie - eclisses - axe Z	$J_{z,sp,b}$ =	4.91E+06	mm^4
moment d'inertie - eclisses - axe Z - net	$J_{z,sp,b,net}$ =	3.82E+06	mm^4
module de résistance - eclisses - axe Z	$W_{z,sp,b}$ =	5.78E+04	mm^3
module de résistance - eclisses - axe Z - net	$W_{z,sp,b,net}$ =	4.50E+04	mm^3
Charges			
Efforts globals			
set de charges		**USER**	
force axiale - axe X	F_x =	**0**	*kN*
effort de cisellement - axe Y	F_y =	**14**	*kN*
moment fléchissant - axe Z	M_z =	**0**	*kNm*
Distribution des efforts			
effort axial sur la poutre	$N = F_x$ =	0	*kN*
effort de cisellement sur la poutre - axe Y	$V_y = \|F_y\|/2$ =	14	*kN*
moment fléchissant sur la poutre - axe Z	$M_z = \|M_z\|$ =	0	*kNm*
moment fléchissant additionnel côté noeud - axe Z	$M_{p,n,z} = \|F_y\| \cdot e_{x,n}$ =	1	*kNm*
moment fléchissant total côté noeud - axe Z	$M_{tot,n,z} = \|M_z\|+\|M_{p,n,z}\|$ =	1	*kNm*
moment fléchissant additionnel côté poutre - axe Z	$M_{p,b,z} = \|F_y\| \cdot e_{x,b}$ =	3	*kNm*
moment fléchissant total côté poutre - axe Z	$M_{tot,b,z} = \|M_z\|+\|M_{p,b,z}\|$ =	3	*kNm*
Efforts sur les boulons			
Côté noeud			
force max - dir. X	$R_{x,max,n} = \|N\|/n_{b,n}+\|M_{tot,n,z}\| \cdot (b_{y,sp,n}/2)/(n_{cb,n} \cdot \Sigma_{xy}^2)$ =	14	*kN*
force max - dir. Z	$R_{y,max,n} = \|V_y\|/(n_{b,n})+\|M_{tot,n,z}\| \cdot (b_{x,sp,n}/2)/(n_{rb,n} \cdot \Sigma_{xy}^2)$ =	7	*kN*
force max - plan XZ	$R_{xy,max,n} = \sqrt{(R_{x,max,n}^2+R_{y,max,n}^2)}$] =	16	*kN*
Côté poutre			
force max - dir. X	$R_{x,max,b} = \|N\|/n_{b,b}+\|M_{tot,b,z}\| \cdot (b_{y,sp,b}/2)/(n_{cb,b} \cdot \Sigma_{xy}^2)$ =	10	*kN*
force max - dir. Y	$R_{y,max,b} = \|V_y\|/(n_{b,b})+\|M_{tot,b,z}\| \cdot (b_{x,sp,b}/2)/(n_{rb,b} \cdot \Sigma_{xy}^2)$ =	9	*kN*
force max - plan XY	$R_{xy,max,b} = \sqrt{(R_{x,max,b}^2+R_{y,max,b}^2)}$] =	14	*kN*
Vérifications			
Boulons			
Côté noeud			
effort de projet	$F_{V,Sd} = R_{xz,max,n}/n_{T,f}$ =	8	*kN*
résistance de projet a cisellement	$F_{V,Rd} \cdot \beta_{Lf,f} \cdot \beta_{p,f}$ =	60.3	*kN*
résistance de projet a glissement ELU	$F_{S,Rd}$ =	28.1	*kN*
résistance de projet a glissement ELS	$F_{S,Rd,Ser}$ =	32.0	*kN*
résistance de projet	F_{Rd} =	60.3	*kN*

$F_{V,Sd} \leq F_{Rd}$ → **8** *kN* < **60.3** *kN* *ratio: 0.13* **OK**

Côté poutre			
effort de projet	$F_{V,Sd} = R_{xy,max,b}/n_{T,w}$ =	7	*kN*
résistance de projet a cisellement (boulon fileté)	$F_{V,Rd} \cdot \beta_{Lf,w} \cdot \beta_{p,w}$ =	60.3	*kN*
résistance de projet a glissement ELU	$F_{S,Rd}$ =	28.1	*kN*
résistance de projet a glissement ELS	$F_{S,Rd,Ser}$ =	32.0	*kN*
résistance de projet	F_{Rd} =	60.3	*kN*

$F_{V,Sd} \leq F_{Rd}$ → **7** *kN* < **60.3** *kN* *ratio: 0.11* **OK**

Préssion diamétrale

Plaque de noeud

charge de projet pour la pression diamétrale	$F_{b,Sd} = R_{xy,max,n}$ =	15.7	*kN*
coeff. - boulons bord dir. //	$\alpha_{d,edge} = e_1/(3\ d_0)$ =	0.46	
coeff. - boulons interieurs dir. //	$\alpha_{d,inner} = p_1/(3\ d_0)-0.25$ =	0.86	
coeff. - dir. //	$\alpha_b = \min(\alpha_{d,inner}\ ;\ \alpha_{d,edge}\ ;\ f_{ub}/f_u\ ;\ 1)$ =	0.46	
coeff. - boulons bord dir. ⊥	$k_{edge} = \min(2.8\ e_2/d_0-1.7\ ;\ 2.5)$ =	2.50	
coeff. - boulons interieurs dir. ⊥	$k_{inner} = \min(1.4\ p_2/d_0-1.7\ ;\ 2.5)$ =	2.50	
coeff. - dir. ⊥	$k = \min(k_{edge}\ ;\ k_{inner})$ =	2.50	
résistance à la pression diamétrale	$F_{b,Rd} = k\ \alpha_b\ f_u\ d_b\ t/\gamma_{M2}$ =	36.4	*kN*

$F_{b,Sd} \leq F_{b,Rd}$ → **16** *kN* < **36.4** *kN* *ratio: 0.43* **OK**

Poutre

charge de projet pour la pression diamétrale	$F_{b,Sd} = R_{xy,max,b}$ =	13.5	*kN*
coeff. - boulons bord dir. //	$\alpha_{d,edge} = e_1/(3\ d_0)$ =	0.46	
coeff. - boulons interieurs dir. //	$\alpha_{d,inn} = p_1/(3\ d_0)-0.25$ =	0.86	
coeff. - dir. //	$\alpha_b = \min(\alpha_{d,inner}\ ;\ \alpha_{d,edge}\ ;\ f_{ub}/f_u\ ;\ 1)$ =	0.46	
coeff. - boulons bord dir. ⊥	$k_{inner} = \min(2.8\ e_2/d_0-1.7\ ;\ 2.5)$ =	2.50	
coeff. - boulons interieurs dir. ⊥	$k_{edge} = \min(1.4\ p_2/d_0-1.7\ ;\ 2.5)$ =	2.50	
coeff. - dir. ⊥	$k = \min(k_{edge}\ ;\ k_{inner})$ =	2.50	
résistance à la pression diamétrale	$F_{b,Rd} = k\ \alpha_b\ f_u\ d_b\ t/\gamma_{M2}$ =	39.5	*kN*

$F_{b,Sd} \leq F_{b,Rd}$ → **14** *kN* < **39.5** *kN* *ratio: 0.34* **OK**

Éclisse - Côté noeud

charge de projet pour la pression diamétrale	$F_{b,Sd} = R_{xy,max,n} / n_T$=	7.8	*kN*
coeff. - boulons bord dir. //	$\alpha_{d,edge} = e_1/(3\ d_0)$ =	0.46	
coeff. - boulons interieurs dir. //	$\alpha_{d,inn} = p_1/(3\ d_0)-0.25$ =	0.86	
coeff. - dir. //	$\alpha_b = \min(\alpha_{d,inner}\ ;\ \alpha_{d,edge}\ ;\ f_{ub}/f_u\ ;\ 1)$ =	0.46	
coeff. - boulons bord dir. ⊥	$k_{inner} = \min(2.8\ e_2/d_0-1.7\ ;\ 2.5)$ =	2.50	
coeff. - boulons interieurs dir. ⊥	$k_{edge} = \min(1.4\ p_2/d_0-1.7\ ;\ 2.5)$ =	2.50	
coeff. - dir. ⊥	$k = \min(k_{edge}\ ;\ k_{inner})$ =	2.50	
résistance à la pression diamétrale	$F_{b,Rd} = k\ \alpha_b\ f_u\ d_b\ t/\gamma_{M2}$ =	36.4	*kN*

$F_{b,Sd} \leq F_{b,Rd}$ → **8** *kN* < **36.4** *kN* *ratio: 0.21* **OK**

Éclisse - Côté poutre

charge de projet pour la pression diamétrale	$F_{b,Sd} = R_{xy,max,b} / n_T$=	6.8	*kN*
coeff. - boulons bord dir. //	$\alpha_{d,edge} = e_1/(3\ d_0)$ =	0.46	
coeff. - boulons interieurs dir. //	$\alpha_{d,inn} = p_1/(3\ d_0)-0.25$ =	0.86	
coeff. - dir. //	$\alpha_b = \min(\alpha_{d,inner}\ ;\ \alpha_{d,edge}\ ;\ f_{ub}/f_u\ ;\ 1)$ =	0.46	
coeff. - boulons bord dir. ⊥	$k_{inner} = \min(2.8\ e_2/d_0-1.7\ ;\ 2.5)$ =	2.50	
coeff. - boulons interieurs dir. ⊥	$k_{edge} = \min(1.4\ p_2/d_0-1.7\ ;\ 2.5)$ =	2.50	
coeff. - dir. ⊥	$k = \min(k_{edge}\ ;\ k_{inner})$ =	2.50	
résistance à la pression diamétrale	$F_{b,Rd} = k\ \alpha_b\ f_u\ d_b\ t/\gamma_{M2}$ =	36.4	*kN*

$F_{b,Sd,LEV} \leq F_{b,Rd}$ → **7** *kN* < **36.4** *kN* *ratio: 0.19* **OK**

Résistance

Plaque de noeud

tension de cisellement	$\tau_{y,net,Sd} = V_y/A_{np,net}$ =	5.0	N/mm^2
tension axiale sur sect. brute (max.compr.)	$\sigma_{x,gr} = N/A_{np} - \lvert M_{tot,z,n}\rvert/W_{z,np}$ =	-5.6	N/mm^2
tension axiale sur sect. nette (max.tract.)	$\sigma_{x,gr} = N/A_{np,net} + \lvert M_{tot,z,n}\rvert/W_{z,np,net}$ =	5.6	N/mm^2
tension VM sect. brute	$\sigma_{VM,gr,Sd} = \sqrt{(\sigma_{x,gr,Sd}^2 + 3\tau_{z,net,Sd}^2)}$ =	10.4	N/mm^2
tension VM sect. Nette	$\sigma_{VM,net,Sd} = \sqrt{(\sigma_{x,net,Sd}^2 + 3\tau_{z,net,Sd}^2)}$ =	10.4	N/mm^2
tension limite de calcul	$f_{y,Rd} = f_{yk}/\gamma_{M0}$ =	261.9	N/mm^2

Section en traction et en compression --> vérification section nette et brute

$\lvert\sigma_{VM,gr,Sd}\rvert \leq f_{y,Rd}$ → **10** N/mm^2 < **261.9** N/mm^2 *ratio: 0.04* **OK**

$\lvert\sigma_{VM,net,Sd}\rvert \leq f_{y,Rd}$ → **10** N/mm^2 < **261.9** N/mm^2 *ratio: 0.04* **OK**

Poutre

tension de cisellement	$\tau_{y,net,Sd} = V_y/A_{w,net} =$	12.2	N/mm^2
tension axiale sect. brute	$\sigma_{x,gr} = N/A - \lvert M_{tot,z,b}\rvert/W_z =$	-8.7	N/mm^2
tension axiale sect. Nette	$\sigma_{x,net} = N/A_{net} + \lvert M_{tot,z,b}\rvert/W_{z,net} =$	8.8	N/mm^2
tension VM sect. brute	$\sigma_{VM,gr,Sd} = \sqrt{(\sigma_{x,gr,Sd}^2 + 3\tau_{y,net,Sd}^2)} =$	22.9	N/mm^2
tension VM sect. Nette	$\sigma_{VM,net,Sd} = \sqrt{(\sigma_{x,net,Sd}^2 + 3\tau_{y,net,Sd}^2)} =$	23.0	N/mm^2
tension limite de calcul	$f_{y,Rd} = f_{yk}/\gamma_{M0} =$	261.9	N/mm^2

Section en traction et en compression --> vérification section nette et brute

$\lvert\sigma_{VM,gr,Sd}\rvert \leq f_{y,Rd}$	→	**23** N/mm^2	<	**261.9** N/mm^2	*ratio: 0.09*	**OK**
$\lvert\sigma_{VM,net,Sd}\rvert \leq f_{y,Rd}$	→	**23** N/mm^2	<	**261.9** N/mm^2	*ratio: 0.09*	**OK**

Éclisse - Côté noeud

tension de cisellement	$\tau_{y,net,Sd} = V_y/A_{sp,n,net} =$	8.7	N/mm^2
tension axiale sur sect. brute (max.compr.)	$\sigma_{x,gr} = N/A_{sp,n} - \lvert M_{tot,z,n}\rvert/W_{z,sp,n} =$	-24.2	N/mm^2
tension axiale sur sect. nette (max.tract.)	$\sigma_{x,net} = N/A_{sp,n,net} + \lvert M_{tot,z,n}\rvert/W_{z,sp,n,net} =$	31.1	N/mm^2
tension VM sect. brute	$\sigma_{VM,gr,Sd} = \sqrt{(\sigma_{x,gr,Sd}^2 + 3\tau_{y,net,Sd}^2)} =$	28.5	N/mm^2
tension VM sect. Nette	$\sigma_{VM,net,Sd} = \sqrt{(\sigma_{x,net,Sd}^2 + 3\tau_{y,net,Sd}^2)} =$	34.6	N/mm^2
tension limite de calcul	$f_{y,Rd} = f_{yk}/\gamma_{M0} =$	261.9	N/mm^2

Section en traction et en compression --> vérification section nette et brute

$\lvert\sigma_{VM,gr,Sd}\rvert \leq f_{y,Rd}$	→	**29** N/mm^2	<	**261.9** N/mm^2	*ratio: 0.11*	**OK**
$\lvert\sigma_{VM,net,Sd}\rvert \leq f_{y,Rd}$	→	**35** N/mm^2	<	**261.9** N/mm^2	*ratio: 0.13*	**OK**

Éclisse - Côté poutre

tension de cisellement	$\tau_{y,net,Sd} = V_y/A_{sp,b,net} =$	8.7	N/mm^2
tension axiale sur sect. brute (max.compr.)	$\sigma_{x,gr} = N/A_{sp,b} - \lvert M_{tot,z,b}\rvert/W_{z,sp,b} =$	-46.0	N/mm^2
tension axiale sur sect. nette (max.tract.)	$\sigma_{x,net} = N/A_{sp,b,net} + \lvert M_{tot,z,b}\rvert/W_{z,sp,b,net} =$	59.2	N/mm^2
tension VM sect. brute	$\sigma_{VM,gr,Sd} = \sqrt{(\sigma_{x,gr,Sd}^2 + 3\tau_{y,net,Sd}^2)} =$	48.4	N/mm^2
tension VM sect. Nette	$\sigma_{VM,net,Sd} = \sqrt{(\sigma_{x,net,Sd}^2 + 3\tau_{y,net,Sd}^2)} =$	61.1	N/mm^2
tension limite de calcul	$f_{y,Rd} = f_{yk}/\gamma_{M0} =$	261.9	N/mm^2

Section en traction et en compression --> vérification section nette et brute

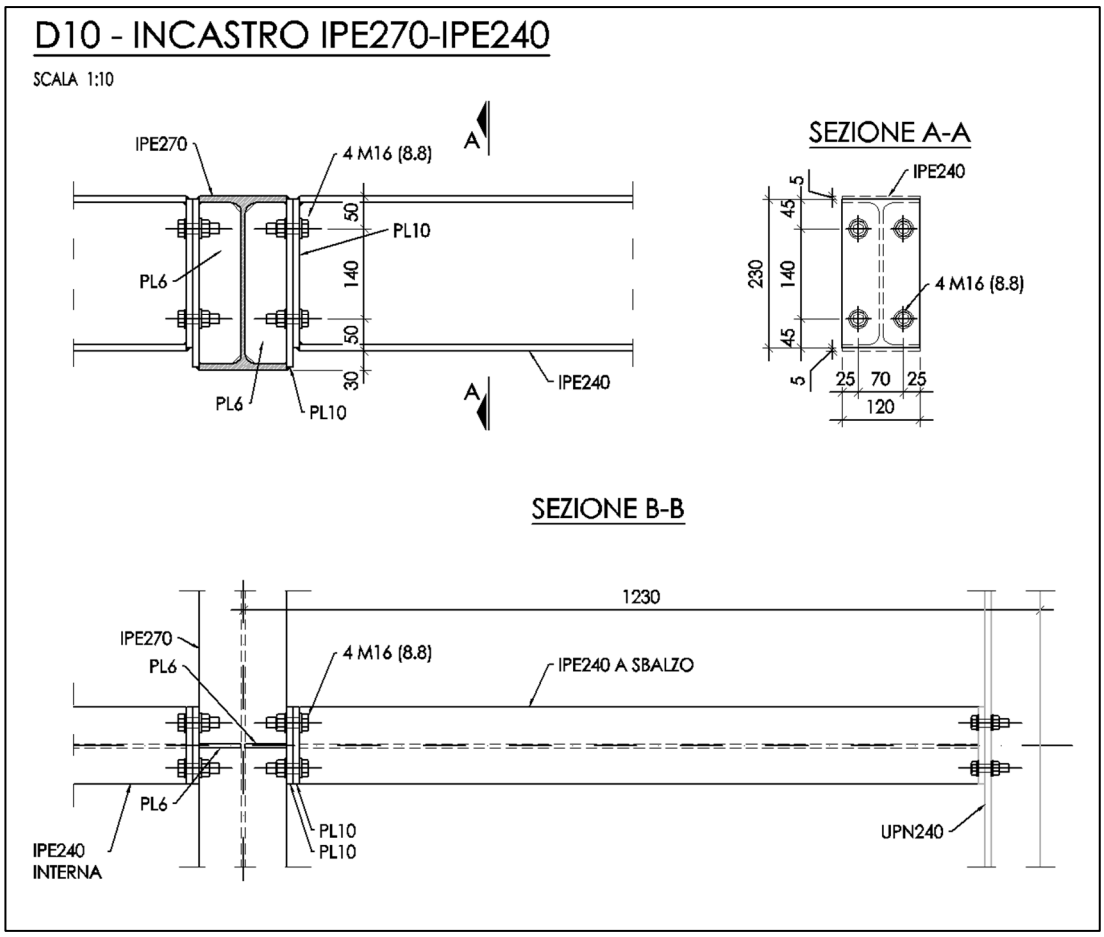
$\lvert\sigma_{VM,gr,Sd}\rvert \leq f_{y,Rd}$	→	**48** N/mm^2	<	**261.9** N/mm^2	*ratio: 0.18*	**OK**
$\lvert\sigma_{VM,net,Sd}\rvert \leq f_{y,Rd}$	→	**61** N/mm^2	<	**261.9** N/mm^2	*ratio: 0.23*	**OK**

Resumé des vérifications

BOLTS	*node side*		0.13
	beam side		0.11
BEARING	*node plate*		0.43
	beam		0.34
	splice node side		0.21
	splice beam side		0.19
RESISTANCE	*node plate*	*gross*	0.04
		net	0.04
	beam	*gross*	0.09
		net	0.09
	splice node side	*gross*	0.11
		net	0.13
	splice beam side	*gross*	0.18
		net	0.23
MAX			**0.43**

13.4. D10 – Incastro IPE270-IPE240

Si riporta in seguito la verifica della connessione D10 – INCASTRO IPE270-IPE240.
La connessione è quella riportata nell'immagine di seguito:



Connessione D10 – Incastro IPE270-IPE240

Per la verifica vengono utilizzate le sollecitazioni massime registrate sulle colonne da analisi FEM.
Le sollecitazioni utilizzate fanno riferimento ad un inviluppo delle sollecitazioni e pertanto rappresentano dei massimi non concomitanti (ipotesi a favore di sicurezza).

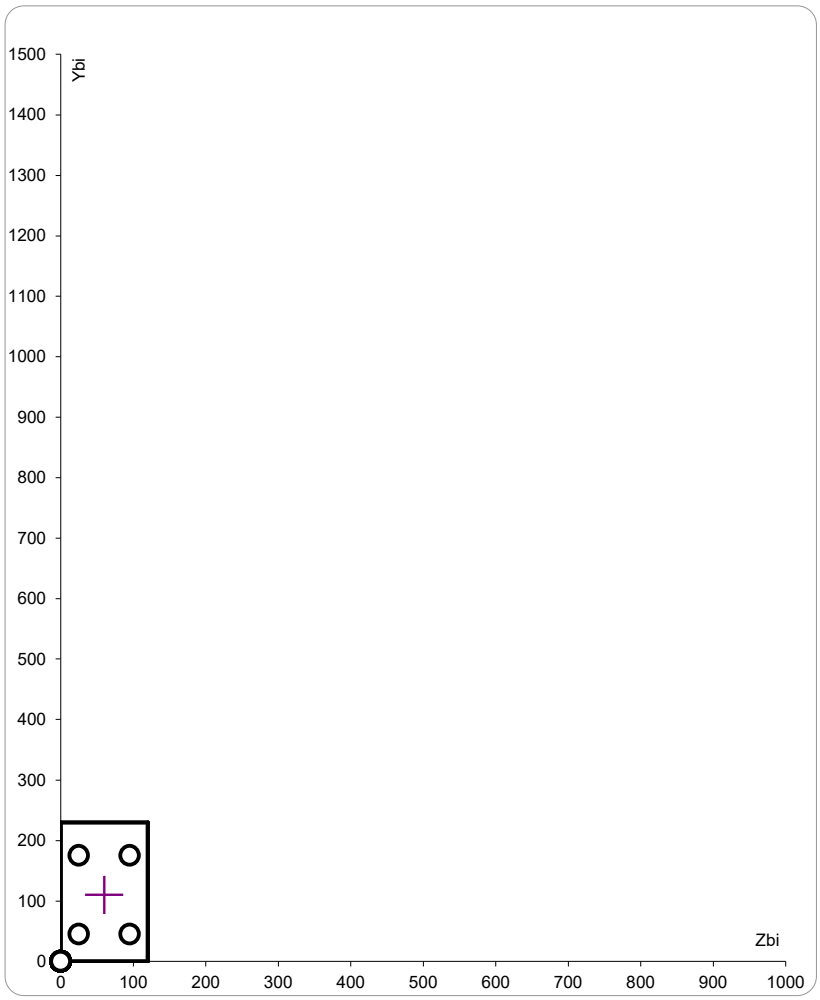
Di seguito si riporta un estratto del foglio di calcolo utilizzato per la verifica:

CONNESSIONE A FLANGIA - UNI EN 1993-1-8:2005 (EC3)

ELEMENTO : IPE240

Normativa			
Coefficienti parziali di sicurezza			
coefficiente	γ_{M0} =	**1.00**	
coefficiente	γ_{M2} =	**1.25**	
Materiali			
Flangia			
tipo di acciaio		**S355**	
tensione di snervamento	f_{yk} =	355	*N/mm²*
tensione di rottura	f_u =	470	*N/mm²*
Bolts			
classe bulloni		**8.8**	
tensione di snervamento	$f_{y,b}$ =	640	*N/mm²*
tensione di rottura	$f_{u,b}$ =	800	*N/mm²*
taglio sulla parte filettata del bullone:		**Y**	
Geometria			
Flangia			
spessore della flangia	t_f =	**10**	*mm*
larghezza della flangia	b_f =	**120**	*mm*
altezza della flangia	h_f =	**230**	*mm*
spessore del piatto di rinforzo (*0 se assente)*	t_{bp} =	**0**	*mm*
Bulloni			
bulloni		**M16**	
diametro dei bulloni	d_b =	16	*mm*
diametro dei fori	d_0 =	18	*mm*
distanza dal bordo - dir. Y	e_1 =	45	*mm*
interasse - dir. Y	p_1 =	130	*mm*
distanza dal bordo - dir. Z	e_2 =	25	*mm*
interasse - dir. Z	p_2 =	0	*mm*

	z_{Bi} [mm]	y_{Bi} [mm]
B1	**95**	**45**
B2	**95**	**175**
B3	**25**	**45**
B4	**25**	**175**
B5	-	-
B6	-	-
B7	-	-
B8	-	-
B9	-	-
B10	-	-
B11	-	-
B12	-	-
B13	-	-
B14	-	-
B15	-	-
B16	-	-
B17	-	-
B18	-	-
B19	-	-
B20	-	-
B21	-	-
B22	-	-
B23	-	-
B24	-	-
B25	-	-
B26	-	-
B27	-	-
B28	-	-
B29	-	-
B30	-	-
B31	-	-
B32	-	-
B33	-	-
B34	-	-
B35	-	-
B36	-	-
B37	-	-
B38	-	-
B39	-	-
B40	-	-
B41	-	-
B42	-	-
B43	-	-
B44	-	-
B45	-	-
B46	-	-
B47	-	-
B48	-	-
B49	-	-
B50	-	-



numero totale di bulloni	n_b =	4	
CDG - coord. Z	$z_G = \Sigma z_{Bi}/n_b$ =	60	*mm*
CDG - coord. Y	$y_G = \Sigma y_{Bi}/n_b$ =	110	*mm*
momento di inerzia polare	$J_{p,b} = \Sigma\ [(z_G-z_{Bi})^2+(y_G-y_{Bi})^2]$ =	2.18E+04	mm^2
momento di inerzia - asse Z	$J_{z,b} = \Sigma\ (y_{Bi}-n_y)^2$ =	3.38E+04	mm^2
momento di inerzia - asse Y	$J_{y,b} = \Sigma\ (z_{Bi}-n_z)^2$ =	9.80E+03	mm^2
posizione dell'asse neutro: sui bulloni di bordo		**3**	
asse del bordo compresso - // Y	n_z =	25	*mm*
asse del bordo compresso - // Z	n_y =	45	*mm*

Carichi

Forze sulla flangia

set di carichi		**USER**	
sforzo assiale - asse X	F_x =	**0**	*kN*
sforzo di taglio - asse Y	F_y =	**0**	*kN*
sforzo di taglio - asse Z	F_z =	**0**	*kN*
torsione - asse X	M_x =	**0**	*kNm*
momento flettente - asse Y	M_y =	**0**	*kNm*
momento flettente - asse Z	M_z =	**8**	*kNm*

Forze sui bulloni

forza max - dir. Z	$R_{zi,max} = \max [F_z/n_b+M_x/J_{p,b}\|(y_G-y_{Bi})\|]$ =	0	*kN*
forza max - dir. Y	$R_{yi,max} = \max [F_y/n_b+M_x/J_p\|(z_G-z_{Bi})\|]$ =	0	*kN*
forza max - piano ZY	$R_{zy,max} = \sqrt{(R_{z,max}^2+R_{y,max}^2)}$ =	0	*kN*
forza max - dir. X	$R_{x,max} = \max [F_{x,max}/n_b+M_z/J_z(y_{Bi}-n_y)+M_y/J_y (z_{Bi}-n_z)]$ =	31	*kN*

Verifiche

Bulloni

forza di taglio di calcolo	$F_{V,Sd} = R_{zy,max}$ =	0	kN
forza di trazione di calcolo (*solo se positiva)	$F_{N,Sd} = R_{x,max}$ * =	31	kN
resistenza a taglio di progetto	$F_{V,Rd}$ =	60	*kN*
resistenza a trazione di progetto	$F_{N,Rd}$ =	90	kN

$F_{V,Sd} \leq F_{V,Rd}$	→	**0** *kN*	<	**60** *kN*	*ratio: 0.00*	**OK**
$F_{N,Sd} \leq F_{N,Rd}$	→	**31** *kN*	<	**90** *kN*	*ratio: 0.34*	**OK**
$F_{V,Sd}/F_{V,Rd} + F_{N,Sd}/(1.4F_{N,Rd}) \leq 1$	→	**0.24**	<	**1.0**	*ratio: 0.24*	**OK**

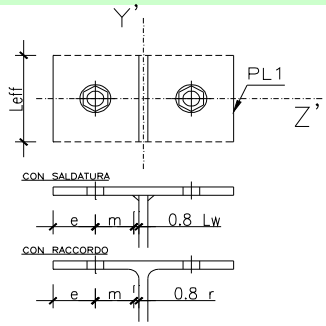
Flangia - Rifollamento

carico di progetto per il rifollamento	$F_{b,Sd} = R_{zy,max}$ =	0	kN
coeff. - bulloni bordo dir. //	$\alpha_{d,edge} = e_1/(3\ d_0)$ =	0.83	
coeff. - bulloni interni dir. //	$\alpha_{d,inn} = p_1/(3\ d_0)-0.25$ =	2.16	
coeff. - dir. //	$\alpha_b = \min(\alpha_{d,inner}\ ;\ \alpha_{d,edge}\ ;\ f_{ub}/f_u\ ;\ 1)$ =	0.83	
coeff. - bulloni bordo dir. ⊥	$k_{inner} = \min(2.8\ e_2/d_0-1.7\ ;\ 2.5)$ =	2.19	
coeff. - bulloni interni dir. ⊥	$k_{edge} = \min(1.4\ p_2/d_0-1.7\ ;\ 2.5)$ =	-1.70	
coeff. - dir. ⊥	$k = \min(k_{edge}\ ;\ k_{inner})$ =	-1.70	
resistenza di progetto a rifollamento	$F_{b,Rd} = k\ \alpha_b\ f_u\ d_b\ t_f/\gamma_{M2}$ =	-85.2	kN

$F_{b,Sd} \leq F_{b,Rd}$	→	**0** *kN*	>	**-85** *kN*	*ratio: 0.00*	**OK**

Flangia - Resistenza (T-Stub)

forza di progetto a trazione sui due bulloni del T	$F_{N,Sd} = 2 \cdot R_{x,max}$ =	62	*kN*
lunghezza Efficace elemento a T equivalente	L_{eff} =	**202**	*mm*
distanza ridotta del bullone dalla costola	m =	**40**	*mm*
distanza minima del bullone dal bordo	e =	**30**	*mm*
distanza di calcolo del bullone dal bordo	n =	30	*mm*
momento plastico resistente del T equivalemte	$M_{pl,Rd} = 0.25 \cdot L_{eff} t_f^2 f_{yk}/\gamma_{M0}$ =	1.79E+06	*Nmm*
momento plastico resistente del piatto di rinforzo	$M_{bp,Rd} = 0.25 \cdot L_{eff} t_{bp}^2 f_{yk}/\gamma_{M0}$ =	0.00E+00	*Nmm*
meccanismo plastico completo dell'ala	$F_{T,Rd1} = (4 \cdot M_{pl,Rd}+2 \cdot M_{bp,Rd})/m$ =	179	*kN*
snervamento dell'ala	$F_{T,Rd2} = (2 \cdot M_{pl,Rd}+nF_{t,Rd})/(m+n)$ =	129	*kN*
rottura dei buloni	$F_{T,Rd3} = 2 \cdot F_{t,Rd}$ =	181	*kN*
resistenza di calcolo del T-stub	$F_{T,Rd} = \min(F_{T,Rd1}\ ;\ F_{T,Rd2}\ ;\ F_{T,Rd3})$ =	129	*kN*



$F_{N,Sd} \leq F_{t,Rd}$	→	**62** *kN*	<	**129** *kN*	*ratio: 0.48*	**OK**

Riassunto delle verifiche

BOLTS	shear	0.00
	traction	0.34
	combined shear-traction	0.24
FLANGE	bearing	0.00
	T-Stub	0.48
MAX		**0.48**